

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Ústav letecké dopravy

Možnosti využití GPS technologie pro sledování pohybu  
letadel za letu

Possibilities of Using of the GPS Technology for Tracking  
of Aircraft in Flight

Student:

Bc. Jiří Hrabinec

Vedoucí diplomové práce:

Ing. František Martinec, CSc.

Ostrava 2014

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jiří Hrabinec**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2301T003 Dopravní technika a technologie  
Specializace: 40 Letecká doprava  
Téma: **Možnosti využití GPS technologie pro sledování pohybu letadel za letu**  
**Possibilities of Using of the GPS Technology for Tracking of Aircraft in Flight**

Zásady pro vypracování:

1. Analýza možnosti využití technologie družicových navigačních systémů pro sledování pohybu letadel za letu
2. Návrh využití GPS technologie pro sledování pohybu letadel za letu
3. Částečná realizace GPS technologie pro sledování pohybu letadel za letu

Seznam doporučené odborné literatury:

Volner, R.: Digitální technologie – Elektronické přístrojové systémy, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007.  
[http://www.crr.vutbr.cz/system/files/brozura\\_08\\_1009.pdf](http://www.crr.vutbr.cz/system/files/brozura_08_1009.pdf)  
Technický popis družicového navigačního systému – GPS.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. František Martinec, CSc.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



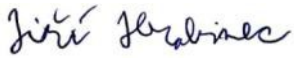
doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.  
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

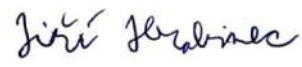
V Ostravě 2.5.2014

  
.....  
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 2.5.2014



.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Jiří Hrabinec

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Včelary 323, Bílovice 687 12



## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

HRABINEC, J. *Možnosti využití GPS technologie pro sledování pohybu letadel za letu: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2014, 107 s. Vedoucí práce: Martinec, F.

V úvodní pasáži práce je provedena analýza trhu vzhledem ke třem typům objektů a obecný popis jednotlivých zařízení. Uprostřed popisuji výběr zařízení ke sledování pohybu letadel a jejich konkrétní parametry a funkce. Také jsem zde stanovil vlastní účely a důvody použití sledovacího zařízení a provedl dva návrhy využití. Navázal jsem k tomu algoritmy formou vývojového diagramu s obecným popisem postupu měření, uložení dat a jejich vyhodnocování. Dále je zde uveden popis úprav zařízení, jejich montáže a zkušební provoz. Pokračuje ukládání a stahování dat a práce s nimi v konkrétních programech včetně krátkého popisu typů souborů. Ke konci se zabývám vyhodnocováním a využitím dat na základě stanovených návrhů. Zakončuji závěrečným srovnáním dvou přístrojů a zhodnocením osobních zkušeností.

## **ANNOTATION OF MASTER THESIS**

HRABINEC, J. *Possibilities of Using of the GPS Technology for Tracking of Aircraft in Flight: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institut of Transport, 2014, 107 p. Thesis head: Martinec, F.

In the introduction passages of this thesis is an analysis of the market in relation to the three types of objects and a general description of the equipment. Amidst I describe a selection of the equipment to monitor the movement of an aircraft and its specific parameters and functions. Also I set my own purposes and reasons for the use of surveillance equipment and I made the use of two proposals. I continued this with algorithms in the form of a flowchart with a general description of the measurement procedure, data storage and evaluation. There is also a description of the adjustment of the device, its installation and test operation. I continued with describing upload and download data and working with them in specific programs including a brief description of the types of files. At the end of thesis I deal with the evaluation and use of data based on the proposals set out. I finish with a final comparison of the two devices and the evaluation of my personal experience.

## Seznam použitých zkratk

Zkratka	Český název	Anglický název
ADS-B	Systém automatického závislého přehledového vysílání	Automatic Dependent Surveillance-Broadcast
A-GPS	Asistovaná GPS	Assisted GPS
AHRS	Polohový a směrový referenční systém	Attitude and Heading Reference System
Bpv	Výškový systém – Baltský po vyrovnání	
DGPS	Diferenční GPS	Differential GPS
DME	Dálkoměrný systém	Distance Measuring Equipment
EFIS	Elektronický letový informační systém	Electronic Flight Information System
FMS	Letový řídicí systém	Flight Management System
GBAS	Pozemní rozšiřující systém	Ground-Based Augmentation System
GLS	GNSS přistávací systém	GNSS Landing System
GNSS	Globální družicový navigační systém	Global Navigation Satellite System
GPRS	Obecná paketová radiová služba	General Packet Radio Service
GPS	Globální polohový systém	Global Positioning System
GPWS	Systém varování před srážkou se zemí	Ground Proximity Warning System
GSM	Globální systém pro mobilní komunikaci	Global System for Mobile Communication
ILS	Elektronický přístrojový přistávací systém	Instrument Landing System
IMU	Inerciální měřicí jednotka	Inertial Measurement Unit
INS	Inerciální navigační systém	Inertial Navigation System

LCD	Displej z tekutých krystalů	Liquid Crystal Display
LED	Dioda emitující světlo	Light-Emitting Diode
MLS	Mikrovlnný přistávací systém	Microwave Landing System
POI	Oblíbené místo	Point of Interest
S-JTSK	Jednotná trigonometrická síť katastrální	
SSR	Sekundární přehledový radar	Secondary Surveillance Radar
SW	Programové vybavení	Software
UL	Ultra lehké letadlo	Ultra Light aircraft
UTC	Koordinovaný světový čas	Coordinated Universal Time
VOR	VKV všesměrový radiomaják	VHF Omnidirectional Radio Range
WGS84	Světový geodetický systém 1984	World Geodetic System 1984

## Obsah

<b>0</b>	<b>STANOVENÍ CÍLŮ .....</b>	<b>10</b>
<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>GLOBÁLNÍ DRUŽICOVÉ NAVIGAČNÍ SYSTÉMY .....</b>	<b>12</b>
2.1	ČÁSTI A POPIS GPS .....	12
2.2	SOUŘADNICOVÉ SYSTÉMY .....	14
2.3	PRINCIP A METODY URČOVÁNÍ POLOHY .....	15
<b>3</b>	<b>ANALÝZA MOŽNOSTI VYUŽITÍ TECHNOLOGIE DRUŽICOVÝCH NAVIGAČNÍCH SYSTÉMŮ PRO SLEDOVÁNÍ POHYBU .....</b>	<b>19</b>
3.1	OSOBNÍ ZAŘÍZENÍ.....	19
3.1.1	<i>Přístroje určené pro sport.....</i>	<i>20</i>
3.1.2	<i>Přístroje určené pro turistiku.....</i>	<i>20</i>
3.1.3	<i>Sledovací zařízení .....</i>	<i>21</i>
3.1.4	<i>Mobilní telefony .....</i>	<i>22</i>
3.1.5	<i>Další osobní zařízení.....</i>	<i>23</i>
3.2	AUTOMOBILOVÁ ZAŘÍZENÍ.....	23
3.2.1	<i>Navigační přístroje .....</i>	<i>24</i>
3.2.2	<i>Sledovací zařízení .....</i>	<i>24</i>
3.2.3	<i>Další zařízení .....</i>	<i>27</i>
3.3	LETECKÁ ZAŘÍZENÍ .....	28
3.3.1	<i>Rádiová navigace.....</i>	<i>28</i>
3.3.2	<i>Družicová navigace .....</i>	<i>30</i>
3.3.3	<i>Inerciální navigace .....</i>	<i>32</i>
3.3.4	<i>Sledovací zařízení .....</i>	<i>34</i>
<b>4</b>	<b>NÁVRH VYUŽITÍ GPS TECHNOLOGIE PRO SLEDOVÁNÍ POHYBU LETADEL ZA LETU.....</b>	<b>36</b>
4.1	VÝBĚR ZAŘÍZENÍ A SYSTÉMU .....	37
4.2	POPIS VYBRANÝCH ZAŘÍZENÍ .....	39
4.2.1	<i>Přístroj Canmore GP102+ .....</i>	<i>39</i>
4.2.2	<i>Přístroj TL-6024 .....</i>	<i>42</i>
4.3	ALGORITMUS PRO SBĚR A VYHODNOCOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT .....	43
4.3.1	<i>Obecný diagram algoritmu .....</i>	<i>43</i>
4.3.2	<i>Konkrétní vývojové diagramy .....</i>	<i>44</i>

<b>5</b>	<b>ČÁSTEČNÁ REALIZACE SLEDOVÁNÍ POHYBU LETADEL ZA LETU .....</b>	<b>48</b>
5.1	SESTAVENÍ ČÁSTÍ ZAŘÍZENÍ A OVĚŘENÍ SPRÁVNÉ FUNKCE .....	48
5.1.1	<i>Příprava přístroje TL-6024.....</i>	<i>48</i>
5.2	MONTÁŽ ZAŘÍZENÍ NA LETADLO .....	51
5.3	ZKUŠEBNÍ LETY, ÚPRAVA NASTAVENÍ PARAMETRŮ A DALŠÍ MĚŘENÍ .....	53
5.4	ULOŽENÍ NAMĚŘENÝCH DAT.....	53
<b>6</b>	<b>VÝSTUPY Z MĚŘENÍ, JEJICH VYHODNOCENÍ A VYUŽITÍ .....</b>	<b>55</b>
6.1	POUŽÍVANÉ POČÍTAČOVÉ PROGRAMY A SOUBORY .....	55
6.1.1	<i>Program CanWay .....</i>	<i>55</i>
6.1.2	<i>Program TL-Control.....</i>	<i>57</i>
6.1.3	<i>Program Google Earth .....</i>	<i>58</i>
6.2	VYHODNOCENÍ A VYUŽITÍ NAMĚŘENÝCH DAT .....	60
6.2.1	<i>Kontrola údajů s Palubním deníkem letadla.....</i>	<i>61</i>
6.2.2	<i>Poletový rozbor.....</i>	<i>67</i>
<b>7</b>	<b>ZÁVĚREČNÁ SROVNÁNÍ POUŽITÝCH ZAŘÍZENÍ.....</b>	<b>72</b>
<b>8</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>75</b>
<b>9</b>	<b>ZHODNOCENÍ CÍLŮ .....</b>	<b>76</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>77</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>80</b>

## **0 Stanovení cílů**

V souladu se svým zadáním diplomové práce se především zaměřuji na moderní technologie, které využívají družicových navigačních systémů pro sledování polohy pohybujícího se objektu, na který se určitým a vhodným způsobem nainstalují.

Mezi počáteční cíle práce jsem si stanovil krátký popis družicových systémů, především toho systému, jenž považuji za hlavní nebo základní pro vyhodnocování polohy. Z důvodu použití zařízení, který pracuje na daném systému, stručnou formou shrnu hlavní principy a strukturu navigačního systému. Na tuto část navážu s analýzou různých zařízení a systémů používaných v několika nejběžnějších oblastech dopravy, které jsou nabízeny a často používány. Stanovím si jejich funkční vlastnosti, výhody a nevýhody.

Z jednotlivých analýz provedu výběr a popis parametrů konkrétních zařízení, které použiji dále pro reálné měření a alespoň částečnou realizaci sledování polohy letadel. Stanovím algoritmus pro měření a vyhodnocování dat a navrhnu možnosti využití výsledků měření.

Jako poslední bod zadání práce je mým cílem popsat instalaci zařízení a průběh realizace skutečného měření dat při pohybu letadla za letu. Na základě těchto měření následuje vyhodnocení získaných dat, jejich interpretace a konkrétní příklady použití.

Nakonec bych rád provedl shrnutí, zhodnocení vlastních zkušeností a porovnání použitých zařízení z několika hledisek na základě definovaného účelu použití.

# 1 Úvod

Na základě vlastní iniciativy pro řešení problematiky s ověřováním základních informací potřebných pro řízení zachování letové způsobilosti a hlídání limitů omezených agregátů malých letadel jsem si zvolil toto téma pro řešení nezávislého systému, který zajistí sledování pohybu letadel za účelem přesného změření těchto základních dat.

Prvním a hlavním účelem této diplomové práce je analýza a následný návrh využití technologie, která umožňuje přesné ověření zapisovaných údajů do Palubního deníku letadla po každém letu.

Druhým a vedlejším účelem je zpracování dat do přehledných modelových znázornění ve 2D, případně 3D, trajektorií naměřených při letu a následné alespoň částečné využití při výcviku jako pomůcka k poletovému rozboru (např. chybných nebo nepovolených manévřů, nedodržení stanovených pravidel, tras, atp.).

Proto se v první části práce věnuji stručnému popisu použitého systému pro sledování polohy a obecnou analýzu různých zařízení a jejich systémů běžně používaných v dnešní době ve třech oblastech použití (osobní, automobilové a letecké).

Ve druhé části zmiňuji důvody použití zařízení pro sledování polohy. Na základě analýzy z první části jsem uskutečnil výběr zařízení včetně požadavků, které po nich požaduji a předpokládám. Po výběru uvádím jejich popis s parametry a funkcemi a navrhuji možnosti a způsoby procesu měření a vyhodnocení dat pomocí vývojového diagramu.

V předposledních dvou kapitolách popisují způsoby montáže zařízení na letadla a průběhy zkušebních a dalších měření. Zabývám se rozbořem aplikovaných typů souborů a použitých počítačových programů a možnosti znázornění dat včetně způsobů jejich využití.

Závěrečnými kapitolami uvádím srovnání použitých zařízení s jejich vlastnostmi a vlastními zkušenostmi a reálně naměřenými daty. Také uvádím zhodnocení celé diplomové práce a dosažených výsledků a cílů. Tuto tištěnou verzi práce doplňuji elektronickou podobou na DVD umístěné v obalu na zadní desce vazby této diplomové práce jako zvláštní přílohu.

## 2 Globální družicové navigační systémy

V této počáteční kapitole bych rád stručně popsal družicové navigační systémy a hlavně GPS, protože vybrané zařízení k určování a sledování polohy letadla za letu využívá tohoto systému (viz. *kap. 4*). Předpokládám, že čtenář má určité znalosti o těchto systémech, případně je může nastudovat v jiných publikacích. Také to není prioritou této diplomové práce, ale myslím, že připomenutí některých informací neuškodí.

Z historického pohledu se družicové navigační systémy vyvíjí od 70. let minulého století. Dva z nich jsou svým původem vojenské systémy GPS (USA) a GLONASS (Rusko). Systém GPS byl zprovozněn r. 95, GLONASS zatím do plného režimu zprovozněn nebyl. Třetím systémem, který je zatím stále ve vývoji a měl by být uveden do provozu v blízkých letech, je GALILEO (Evropská komise a Evropská vesmírná agentura). Tento systém je charakterizován jako nejpřesnější a primárně určen civilnímu sektoru. Jsou to globální systémy, protože pokrývají celou naši planetu Zemi v různých dráhových rovinách. Dokážou určit polohu přijímače s určitou přesností za jakéhokoliv počasí a kdekoli na světě ve velmi krátké době. [1] [2] [3]

Svémi strukturami a principy jsou si všechny podobné s určitými rozdíly. Z tohoto důvodu v nadcházejících kapitolách se zaměřím na popis GPS systému, který je zatím nejpoužívanější a nejčastější. Při tomto popisu čerpám především z literatur viz. odkazy: [1] [2] [3] [4].

### 2.1 Části a popis GPS

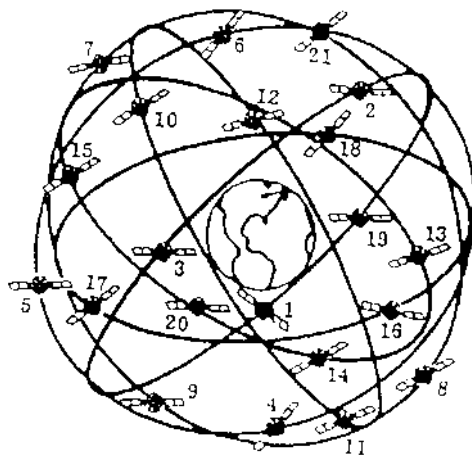
Systém GPS je složen ze tří částí: [1] [2] [4]

- kosmický segment
- řídicí segment
- uživatelský segment

Vesmírná část obsahuje soustavu aktivních družic, znázorněných na *Obr. 2.1*, kterých je 24 (21 plně aktivních a 3 jsou záložní), obíhající na svých určených drahách (celkem 6) ve výšce cca 20000 km kolem naší planety. Tím jsou schopny pokrýt celou Zemi. Všechny vysílají signály směrem k planetě na stejných frekvencích (nosných vlnách), ve kterých jsou obsažené kódové informace. Frekvence jsou následující: L1 (1575,42 MHz), L2 (1227,60 MHz) a L5 (1176,45 MHz). Uživatelé nejpoužívanější

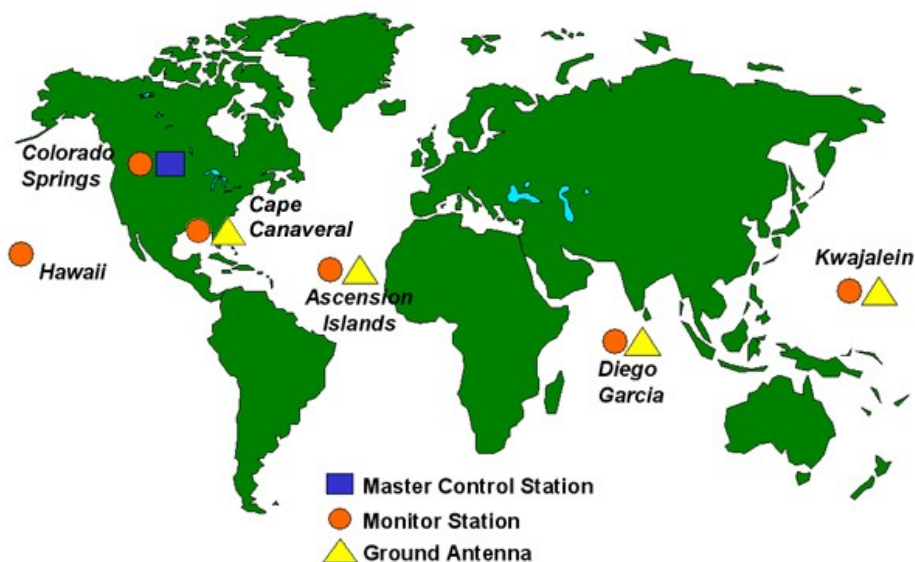


frekvence jsou L1 a L2. Na těchto nosných vlnách jsou modulovány kódy – P, C/A, L1C nebo L2C. Společně s nimi se vysílají tzv. navigační zprávy, které obsahují např. parametry dráhy družice, čas vysílání počátku zprávy, korekce atomových hodin družice a další. [1] [2] [4]



Obr. 2.1 Znárodnění uspořádnání GPS satelitů kolem Země [5]

Pozemní - řídicí – střediska jsou umístěná na různých místech Země (Obr. 2.2) tak, aby bylo možné v kterémkoli okamžiku vysílat opravy družic a jejich vysílaných signálů za účelem získávání co nejpřesnějších dat pro uživatele. [1] [2] [4]



Obr. 2.2 Rozmístění řídicí a monitorovacích center GPS na Zemi [6]

Jednotliví uživatelé, kteří vlastní GPS přijímač (v chytrých mobilních telefonech, automobilových navigacích, atd.), získávají kódované data, ze kterých určitými způsoby výpočtu, přes instalovaný SW v zařízení, dostávají poměrně přesné informace o své poloze

na Zemi včetně výšky nad hladinou moře a další údaje jako např. čas v UTC (záleží na nastavení přístroje, který čas se má na displeji zobrazovat). [1] [2] [4]

## 2.2 Souřadnicové systémy

Z důvodů sjednocení přesného a jednoduchého určování polohy při použití různých přijímačů, jejich nastavení výpočtů polohy a použití kódování bylo nutné stanovit jednotný referenční tvar Země, který nahradí skutečnou planetu. Na základě stanoveného referenčního tvaru se provádí výpočty a korekce ke stanovení polohy a také výšky (povrchu Země, případně výšky nad zemí). Pro popis tvaru Země a jeho povrchu se používají různá geometrická tělesa, ze kterých jsou nejčastější: geoid, kvazigeoid, elipsoid a koule. [4]

Geoid je těleso s ekvipotenciální plochou tvořenou střední hladinou moří a oceánů zasahující i pod kontinenty, vektor tíhového zrychlení je vždy v kterémkoliv místě kolmý. Útvar není snadné přesně matematicky určit. Proto se nahrazuje tzv. kvazigeoidem, který lze matematicky popsat a geoidu se velmi přibližuje. Výšky vztažené k tomuto tělesu jsou „normální“. [4]

Elipsoid je nejpoužívanější ke globálnímu popisu tvaru planety, protože je matematicky jednoduše stanovitelný. Přesněji řečeno jedná se o rotační elipsoid, který lépe vystihuje fyzikální podstatu Země. Elipsoid se obecně skládá ze dvou poloos, kratší je „zástupcem“ osy rotace planety a delší protíná rovník. Při rotaci kolem kratší poloosy je vytvářen rotační elipsoid a delší poloosa tvoří rovinu rovníku. [4]

Koule je sice ze všech tvarů nejjednodušší pro popis, ale víme, že Země je na pólech zploštělá a připomíná spíše eliptický tvar. Při správné volbě kulového poloměru je možno se přiblížit elipsoidu při korekci na určitém malém území. [4]

Mezi souřadnicové systémy, kterých se používá ke stanovení polohy při použití vztažného tělesa, patří: [4]

- **S-JTSK** rovinný typ pro ČR a SR s dvojitým kuželovým zobrazením
- **Bpv** je výškový systém vztažený ke kvazigeoidu s normálními výškami a nulovým bodem stanoveným v Kronšladtu
- **WGS84** vojenský prostorový a geocentrický systém s elipsoidickými výškami; standardní referenční elipsoid používaný především GPS

Mezi jednotlivými systémy (i jinými, které zde nezmiňuji) existují převodní postupy k úpravě souřadnic polohy (X, Y, Z) tak, aby při použití dvou různých systémů byl stejný bod srovnatelný. Pokud bychom neprovedli úpravu, vznikla by chyba mezi výškami systémů až stovky metrů. [4]

## 2.3 Princip a metody určování polohy

Stanovit polohu lze obecně buď přímou, nebo nepřímou cestou. Ta první spočívá v odměření vzdálenosti pomocí metru nebo podobného nástroje od určitého bodu k danému místu, ve kterém se nacházíme. To je samozřejmě nepraktické a obtížné, a proto se používá principu nepřímého měření, které jsou: [3]

- úhloměrná
- dálkoměrná
- kombinace

GPS systém je založen na dálkoměrném měření vzdáleností mezi družicemi a přijímačem, proto tento základní princip zde stručně popíšu. Víme, že satelity GPS vysílají nosné signály směrem k planetě. Když nyní na chvíli zanedbáme jejich pohyb kolem Země a jeho otáčení, stanou se satelity pouhými statickými „radiomajáky“ se známou polohou. V dvourozměrném prostředí potom vzdálenost je určena přijímačem tím, že přijímá vysílané rádiové signály od minimálně dvou vysílačů, kolem kterých se vytvoří kružnice o určitém poloměru a v průsečíku se vyskytuje hledaný bod (poloha přijímače). Dvě kružnice se obecně protínají ve dvou bodech a tím vzniká určitá nepřesnost určení polohy. Abychom stanovili přesnou polohu, musí být příjem třetího signálu od dalšího vysílače. [3]

Problémem je, že planeta rotuje a satelity se pohybují. Proto se používají mírně odlišné principy určení polohy, které jsou: [3]

- kódová měření
- fázová měření
- dopplerovská měření

Kódové stanovení polohy využívá vypočítávání vzdálenosti mezi přijímačem a satelity, při použití tzv. dálkoměrného kódu (již zmíněné P, C/A). Jedná se o časové značky s dalšími daty, které umožňují přijímači zjistit čas odeslání signálu z družice.

Přijímač daného časového rozdílu (doby odeslání a příjmu) stanoví vzdálenost od družice dle vztahu: [3]

$$d_i = \Delta t_i \cdot c \quad (2.1) [3]$$

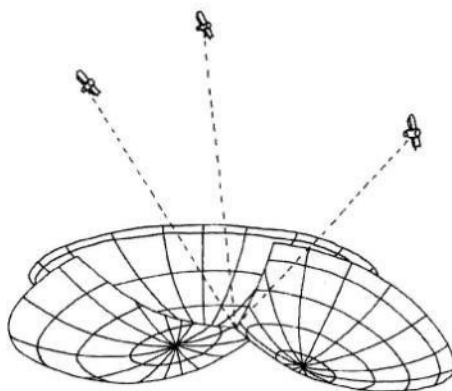
kde  $d_i$  je vzdálenost mezi satelitem a přijímačem,  $\Delta t_i$  je časový rozdíl odeslání a příjmu kódu a  $c$  je rychlost světla šíření vln. [3]

Protože hodiny v přijímači nejsou úplně synchronní se systémovým časem satelitů, vzniká chyba v časovém rozdílu  $\Delta t_i$  a počítá se tzv. zdánlivá vzdálenost. Nicméně při kódovém měření vychází přesnost určení polohy na 3-6 m. Pokud bychom zohlednili další vlivy prostředí, potom se přesnost snižuje. [3]

Druhou z možností je fázové měření, kdy se vychází z nosného signálu, při kterém přijímač spočítá počet vlnových délek tohoto signálu. Protože je obtížné u vlny klasického sinusového charakteru určit přesný čas jejího odeslání, fázová měření obsahují tzv. nejednoznačnosti (ambiguity) v počtu celých vlnových délek. Když přijímač stanoví počáteční hodnotu celočíselné nejednoznačnosti, je potom schopen monitorovat změny fázových posunů a na základě toho určit svou polohu nebo její změny. V případě, že přijímač ztratí signál např. zastíněním antény, provádí nový počáteční výpočet. Při použití fázových měření je přesnost v řádech milimetrů. [3] [4]

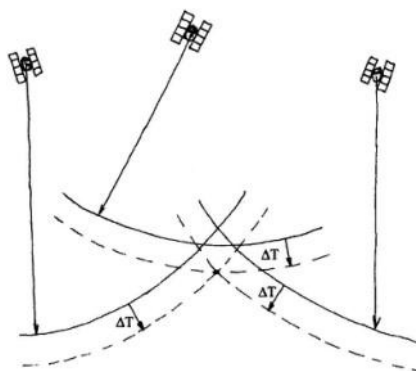
Poslední způsob je dopplerovské měření, které pracuje na principu změny frekvence přijímaného signálu z důvodu pohybu satelitu vůči přijímači. Dochází k posunu frekvence, který je měřen po určitou dobu. Následně je vypočtena radiální vzdálenost mezi satelitem a přijímačem. Tento princip se spíše využívá ke stanovení rychlosti pohybu přijímače. [3]

Mezi metody vyhodnocení polohy patří absolutní a relativní. Absolutní poloha je, že při kódovém měření se počítají jednotlivé zdánlivé vzdálenosti od jednotlivých družic. Teoreticky (při zanedbání různých vlivů prostředí a jiných) se dá určit, že přijímač se nachází na kulové ploše se středem v satelitu a s poloměrem  $r_1$ . Zatím nevíme, ve kterém bodě, a proto potřebujeme druhou družici k určení druhé kulové plochy o poloměru  $r_2$ , která protne první plochu. Vzniknou však minimálně dva protínající body s místy, kde by se mohl nacházet přijímač a musí se určit třetí kulová plocha  $r_3$ . Tato již bezpečně určí, který bod mají společný všechny plochy a tím i polohu přijímače (viz *Obr. 2.3*). Takovým způsobem lze určit poměrně přesnou polohu přijímače v třírozměrném prostoru. [3]



Obr. 2.3 Poloha přijímače při příjmu signálu ze tří družic [3]

Bohužel prakticky se musí provést korekce časového rozdílu přijímače a systémového času satelitů, tedy o  $\Delta T$ , protože vzdálenosti  $r_1$  až  $r_3$  se liší ve vzdálenostech, které urazí vlny signálů za tento čas (viz Obr. 2.4). Původně průsečíkem není bod, ale tvar trojúhelníku, a až po úpravě o hodnotu  $c \cdot \Delta T$  se přesně určí poloha. [3]



Obr. 2.4 Vliv časového posunu hodin přijímače na přesnost (zobrazeno ve 2D) [3]

Jenomže máme tři měření ( $r_1$  až  $r_3$ ) a čtyři neznámé (souřadnice přijímače  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  a časový posun hodin přijímače  $\Delta T$ ), proto musíme provést měření ze čtvrté družice s  $r_4$ . Z toho potom můžeme řešit čtyři rovnice: [3]

$$\begin{aligned}
 r_1 &= \sqrt{(X - x_1)^2 + (Y - y_1)^2 + (Z - z_1)^2} - c \cdot \Delta T \\
 r_2 &= \sqrt{(X - x_2)^2 + (Y - y_2)^2 + (Z - z_2)^2} - c \cdot \Delta T \\
 r_3 &= \sqrt{(X - x_3)^2 + (Y - y_3)^2 + (Z - z_3)^2} - c \cdot \Delta T \\
 r_4 &= \sqrt{(X - x_4)^2 + (Y - y_4)^2 + (Z - z_4)^2} - c \cdot \Delta T
 \end{aligned}
 \tag{2.2} [3]$$

Hodnoty  $r_1$  až  $r_4$  jsou naměřené přijímačem;  $X, Y, Z$  jsou souřadnice přijímače;  $x_i, y_i, z_i$  jsou souřadnice jednotlivých satelitů;  $c$  je rychlost světla a  $\Delta T$  je časový posun. Na základě výsledků přijímač udává výstup v geocentrických souřadnicích s převodem do geografických souřadnic libovolného kartografického zobrazení. [3]

Relativní poloha (označována jako DGPS) je určována na základě kódových měření s korekcí od referenčního přijímače na zemi, jehož poloha je přesně známá. Tímto lze vypočítat odchylky, které se přenáší do našeho přijímače a opraví se nepřesnosti v určení polohy. Po opravě lze touto metodou dosáhnout přesnosti od 1 m do několika desítek centimetrů. [3]

Obecně samozřejmě platí, že čím více družic máme v dohlednosti a přijímáme jejich signál a zároveň přijímač umožňuje přijímat více signálů najednou, potom i přesnost určení polohy je lepší. Musíme však také počítat s vlivy prostředí a faktorů, které snižují přesnost určení polohy, jako je např. stav družic, vícecestné šíření a vznik interference, počet a uspořádání družic, chyba hodin přijímače nebo vliv ionosféry. [4]

### **3 Analýza možnosti využití technologie družicových navigačních systémů pro sledování pohybu**

V dnešní době rozvinutých technologií i za pomoci počítačů existuje mnoho způsobů, jak využívat družicové systémy při určování polohy a sledování pohybu a nejen to. Jednotlivé přístroje se mezi sebou liší více či méně podle toho, na jaký účel jsou použity, kolik satelitů najednou dokážou sledovat, zda podporují jiné systémy a nejen družicové a takto bych mohl pokračovat. Před výběrem zařízení jsem provedl průzkum trhu, kde a jaká zařízení s jakými parametry nabízejí a některá z nich zmíním pro porovnání.

#### **3.1 Osobní zařízení**

V moderní době ve světě počítačů se zlepšují a hlavně zmenšují jejich různé části, které se dále používají ve vývoji a výrobě mikročipů, integrovaných obvodů na malých křemíkových destičkách za účelem použití v chytrých telefonech, tabletech a různých počítačů a zařízení o velikosti přibližně „krabičky od sirek“. Toho se také využívá v osobních navigačních a sledovacích zařízeních z důvodů malých rozměrů a hmotnosti, což umožňuje jejich umístění prakticky kamkoli pro snadné přenášení nebo umístění. Proto jsou používány např. při sportu, turistice, cestování, ale jsou přístroje pro sledování svých domácích zvířat nebo osob, případně kombinace zmíněných účelů do jednoho přístroje. Podporují systémy GPS, GLONASS i GALILEO. Cena takovýchto zařízení se pohybuje v rozmezí stovek až několik desítek tisíc korun.

U osobních sledovacích a navigačních zařízení se obecně počítá s používáním v prostředí s horší kvalitou příjmu signálu, jako jsou městské zástavby, parky s vysokými stromy, lesy, členitý terén nebo horské oblasti. Ke zlepšení a rychlejšímu navázání GPS přijímače k systému se instaluje funkce AGPS (někdy Self A-GPS). Jedná se o data systému s mapovými podklady, které je možné nahrát přes mobilní nebo internetové síť do zařízení při zapnutí aplikace GPS navigace např. v mobilu a urychlit tím počáteční synchronizaci a nastavení příjmu signálů ze satelitů a určení polohy. U některých zařízení s funkcí Self A-GPS je naprogramováno provedení jednorázové „pomoci“ určení polohy při spuštění GPS přes stanovený blízký server přímo a bez potřeby internetu nebo mobilní sítě. Bez této funkce by synchronizace trvala minuty, ale při použití této funkce se pohybujeme v rozmezí sekund až desítkami sekund.

### 3.1.1 Přístroje určené pro sport

Pro sportování se používají většinou zařízení podobné hodinkám na Obr. 3.1, které obsahují přijímač GPS pro sledování polohy a absolvované trasy včetně doby jejího trvání. Také obsahují gyroskop pro vypočítávání např. počtu kroků ze změny rychlosti v určitém směru a snímač tepové frekvence. Na základě výše zmíněných údajů dokáže vnitřní software vypočítat např. hodnotu spálených kalorií a jiných informací potřebných pro hubnutí nebo cvičení v rámci udržování výkonnosti, případně zdravého životního stylu. Data lze stahovat do PC přes bluetooth nebo USB kabel.



Obr. 3.1 Příklady hodinek pro sportování s GPS modulem (vlevo – Garmin Forerunner 210 pro běh, cyklistiku, sjezdové lyžování; vpravo – Garmin Forerunner 910 XT pro plavání, běh, cyklistiku a jiné sporty) [7]

### 3.1.2 Přístroje určené pro turistiku

V turistice se vyskytují přístroje (spíše pracují jako tzv. logger – pouze pasivní záznam dat z GPS na paměť zařízení, případně SD kartu) pro různé zaměření, které mohou být např. klasická, vysokohorská turistika nebo také cykloturistika (příklady jsou na Obr. 3.2). Podle toho se odvíjí rozměry, tvar, funkce, možnosti uchycení a další parametry. Vyskytují se také kombinované přístroje s funkcemi pro různé turistické i sportovního zaměření. Vyznačují se obsahem GPS přijímače, gyroskopem, magnetickým kompasem, barometrickým výškoměrem, teploměrem a dalšími zařízeními. Pomocí těchto částí přístroje pak na základě softwaru lze využít funkcí např. krokoměr, předpověď počasí, kompas, nivelace, atd. U těchto zařízení lze sledovat/nahrávat trasu, kterou člověk ujde, uběhne, ujede na kole nebo v autě. Uloženou trasu potom lze přes počítačový software nahrát do počítače pomocí USB nebo bezdrátově (bluetooth) a provést rozbor, nahrát k nim fotografie s určením pozice, kde byla pořízena a sdílet tak na sociálních sítích a podobně.



Přes PC lze také naplánovat trasu a nahrát ji do přístroje a využít při turistice k navigování na displeji (LCD, LED). Podobně se může použít k nahrání pouze nějakého významného bodu tzv. POI a v terénu přes určitou funkci nebo tlačítko přístroj bude navádět k danému bodu. Toho se využívá např. při geocachingu.



*Obr. 3.2 Příklady přístrojů pro turistiku s podporou všech tří GNSS systémů (vlevo – Garmin eTrex 20, vpravo – Holux FunTrek 132) [7] [8]*

### **3.1.3 Sledovací zařízení**

Dále jsou zařízení sloužící ke sledování věcí, zvířat a osob (tzv. tracker – ukládání dat na paměť i odesílání přes pozemní síť operátorů). Samozřejmě někdo tohoto může zneužívat ke „špehování“, což je přinejmenším nemilé. Představte si ale např. starší osobu, která trpí zapomínáním a snadno se v neznámém i známém prostředí dezorientuje a ztratí. Jakmile to někdo, kdo se o danou osobu stará, zjistí a nemůže ji sám najít, nahlásí to na policii, která vyhláší pátrání. Občas se stává, že i záchranným složkám trvá určitou dobu, než hledanou osobu najdou. Čas hraje velkou roli, protože se může hledaná osoba zranit nebo v zimních měsících umrznout.

K tomu by mohla pomoci dnes vyráběná malá sledovací zařízení jako na Obr. 3.3 pracující na základě GPS signálů, které mají software naprogramovaný s určitými vlastnostmi a funkcemi, které umožní relativně snadno zjistit jinými osobami poměrně přesnou polohu zařízení, jenž je skryté např. v kapse ztracené osoby. Tyto zařízení často disponují možnostmi stanovení abstraktních hranic, při jejichž překročení posílají, pomocí instalované GPRS/GSM antény, data souřadnic a času formou SMS nebo e-mailem na předem stanovené číslo nebo adresu (případně více čísel, adres) s odkazem

na internetovou stránku s mapovými podklady, kde se zobrazí i bod. Také lze nastavit pravidelné posílání hlášení v určitém intervalu pro aktuálnější informace o přijímači. Podobně také pracuje často instalované výrobce tzv. SOS tlačítko, které rovněž pošle data se souřadnicemi na předem stanovená čísla nebo adresy.

Z toho vyplývá, že takové zařízení lze sledovat on-line na mobilu nebo počítači, případně lze po ukončení činnosti stahovat data do PC stejným již zmíněným způsobem jako u předcházejících zařízení. Navíc se přes program na PC mohou nastavit určité funkce a parametry nebo se nastavují přes SMS příkazy posílané z autorizovaného mobilního čísla na SIM kartu v přístroji.



*Obr. 3.3 Příklady osobního sledovacího zařízení (vlevo a uprostřed - TK-102, vpravo – GL 200) [9] [10]*

#### **3.1.4 Mobilní telefony**

Nakonec mezi osobní zařízení nepochybně patří i mobilní telefony, tablety a podobná zařízení, která také obsahují GPS přijímací antény. U nich závisí spíše na použití některé z aplikací, které poskytují buď samotní výrobci přístrojů, nebo firmy programující aplikace. Ty lze použít buď pro navigování naplánované trasy, nebo hledaného bodu při chůzi nebo v automobilu. To je dnes již běžnou záležitostí. Výhodou těchto přístrojů je, že slučují možnosti telefonování, prohlížení internetu, e-mailů, navigace a mnoho dalších funkcí. Závisí to pouze na použitém SW a dostupných aplikacích. Příklady navigačního a sledovacího prostředí jsou na Obr. 3.4.



*Obr. 3.4 Příklady mobilní navigace (vlevo) a aplikace Sports Tracker pro sledování pohybu (vpravo) [11] [12]*

### **3.1.5 Další osobní zařízení**

Nesmím opomenout, že mezi osobní zařízení využívající GPS také patří různá měřicí zařízení používaná ve stavebnictví, těžebním průmyslu a geodézii za účely vyměřování prostor a vytváření modelů nebo k mapování území, apod. Tyto přístroje zde nebudu blíže specifikovat.

## **3.2 Automobilová zařízení**

Podobně jako osobní i automobilová zařízení často používají funkce A-GPS k rychlejšímu načtení dat a synchronizaci při zapnutí v husté zástavbě nebo v místech s aktuálně nižším pokrytím satelitů. Většina automobilových přístrojů pro sledování polohy pracují na systému GPS a některá z nich podporují GLONASS nebo GALILEO. Specializovaná zařízení na sledování vozidel mohou využívat i jiné systémy nebo s nimi spolupracují. Těchto systémů se obecně využívá v osobní i nákladní automobilové dopravě, zemědělské a stavební technice a letištním vozidlovém parku, atp. Cena se pohybuje cca od tisíců až po stovky tisíc.

V osobní dopravě i nákladní dopravě se můžeme setkat obecně se dvěma skupinami přístrojů využívající družicový navigační systém:

- navigace
- sledovací/hlídací zařízení

### 3.2.1 Navigační přístroje

Navigace slouží podobně jako u osobních zařízení především k nastavení směřování k zadanému bodu nebo místa, případně navigování po předem zadané nebo naplánované trase. Plánování nebo zadání bodu se může provést buď přímo na přístroji, nebo přes SW výrobce daného zařízení na PC propojený stejnými technologiemi jako u osobních přístrojů. Příklady navigací do vozidel jsou na Obr. 3.5.



Obr. 3.5 Příklady navigace do automobilu a nákladního vozu (vlevo – Garmin Nüvi 42, vpravo – Garmin Camper 760-T) [7]

### 3.2.2 Sledovací zařízení

Sledovací a hlídací zařízení se dnes často instalují do služebních vozidel různých firem, taxislužeb, poštovních a logistických služeb, stavební a těžební techniky a jiné. Někdy se můžeme s tímto setkat i u soukromých vozidel, většinou u dražších nebo luxusních značek, instalované přímo od výrobce nebo dodatečně na vyžádání zákazníka. Zpravidla se tyto přístroje skládají z mnoha částí instalované na více místech daného vozidla, propojené různými kabely, nebo mohou být integrované do jednoho celku.

Tyto přístroje jsou primárně určené ke sledování polohy a záznamu absolvované trasy pomocí GPS nebo jiného podporovaného družicového systému. Pracují na podobném principu jako osobní trackery. Přijímají data o poloze a času z GPS, zpracovávají je a posílají přes GSM/GPRS sítě na telefonní čísla nebo internetové servery pro možnost on-line sledování. Podle poskytovatele serveru tyto data poskytují sledování na mapových podkladech, vytváření automatické virtuální „Knihy jízd“ se zálohováním dat a jejich tisk a dodatečné funkce podle používaného serveru.

Kromě těchto základních funkcí existují i další, což se odvíjí od konkrétního výrobku. Mezi ně patří například tyto:

- alarm a hlídání překročení stanovené hranice
- nastartování motoru
- hlášení stavu baterie
- ukládání záznamů z videokamer
- hlášení nabourání při stání vozidla
- stav množství paliva v nádrži

Pro využití těchto funkcí musí být sledovací zařízení spojeno s jednotlivými dalšími prvky, které jsou dnes již běžně nainstalovány (alarm) nebo jsou dodávány s výrobkem při jejich koupi (videokamera do automobilů, G-senzor, víko se snímačem hladiny paliva). Propojení je provedeno pomocí různých datových a silových kabelů ke konektorům (portům) zařízení, které mohou být různých typů.

Komunikace s PC se může provádět přes USB kabel nebo bezdrátově přes Wi-Fi, kdy se můžou stahovat data ze zařízení (pokud nebyly odeslány přes mobilní síť) nebo upravovat nastavení zařízení. Data se mohou stahovat do PC přes SD kartu, pokud je k tomu umístěn port na konkrétním přístroji.

Na *Obr. 3.6 a příloze P-I/I* jsou příklady zařízení a jednotlivých komponentů.



*Obr. 3.6 Příklady sledovacích zařízení do vozidla (vlevo – TK-104, vpravo – Teltonika FM5500) [9] [13]*

U taxíků se sledováním polohy pomocí družicových systémů se může navíc využívat funkce jako moderních taxametrů pro určení poměrně přesné ujeté vzdálenosti. S propojením palubního počítače s mini-tiskárnou lze vystavovat potvrzení o zaplacení s automaticky vypočítanou hodnotou ceny podle zadaného paušálu. Příklady takových zařízení jsou na *Obr. 3.7 a Obr. 3.8*.



Obr. 3.7 Příklad systému sledovacího zařízení (vpravo nahoře), taxametru (dole) a tiskárny (vlevo nahoře) [14]



Obr. 3.8 Příklad sledovací jednotky PES; systém HALE s taxametrem a tiskárnou využívající jednotku PES je v příloze P-II/1 [15]

Vozidla letištní správy a bezpečnosti (ostraha, handling, údržbové stroje, hasiči) především na větších nebo mezinárodních letištích bývají sledována kvůli bezpečnosti a přehledu provozu jako takového. Dvojnásobně to platí při podmínkách snížené viditelnosti (mlha, noc), kdy tento systém pomáhá poměrně přesně určit polohu vozidel pohybujících se na provozních plochách letišť. Sledování probíhá v real-time prostředí s nepatrným zpožděním, které probíhá na obrazovce na řídicí věži letiště. Tento systém pracuje na principu odpovídače podobně jako u letadel a spolupracuje s GPS signály pro korekci informací o poloze vozidla. Obvykle se však neprovádí záznam trasy na paměťové médium. Na Obr. 3.9 je příklad vozidla s vysílací anténou systému.





*Obr. 3.9 Příklad SQUID antény pro letištní vozidla a její umístění [16]*

### **3.2.3 Další zařízení**

Ve stavebnictví se GNSS systémy používají v souladu s dalšími částmi pro úpravu terénů a automatizaci těchto činností na základě vytvořených 3D modelů na PC, se kterým lze zařízení kdykoliv propojit. Schéma a části systému jsou v *příloze P-III/1*.

V zemědělské technice se můžou pro změnu vyskytovat systémy spolupracující s ovládacími prvky postřikovačů k automatizaci aplikování látek pro určité pole na základě vytvořených tras na PC podle plánu území se stanovenými směry a hranicemi. Schéma a části systému a příklady plánů jsou v *P-IV/1*.

GNSS a INS systémy se dnes propojují za účely mobilního mapovacího prostředku pro aplikaci na mapování prostředí v geodetických oborech. Jsou vyvíjeny pro montáž na osobní automobily (*Obr. 3.10*) pro mapování silnic, dálnic, ulic měst a tím rychlému sledování změn prostředí a zástavby. Tyto data se dále používají k virtuálnímu modelování 3D budov a žádaných území v realistické podobě pro různé účely internetových mapových portálů (*příloha P-V/1*) a jiných zájmových firem. [4]



*Obr. 3.10 Příklad mobilního mapovacího systému IP-S2 [4]*

### **3.3 Letecká zařízení**

Důležitým rozdílem od předcházejících odvětví, kde se hlavně pracuje s daty ve 2D rovinně (souřadnice polohy na rovinné ploše Země bez nutnosti znát výšku nad terénem jako výstupní informaci a její zobrazení), je znalost polohy s výškou (3D) nad terénem okolí, ve kterém se letí. To je z důvodu, že letadlo se pohybuje v prostoru (vzduchu), kde hrají významnou roli všechny tři osy v určení polohy a pohybu. U sportu nebo s automobilem se pohybujeme na zemi.

Leteckých přístrojů a systémů existuje značný počet. Některé mohou navzájem komunikovat a spolupracovat i s dalšími systémy. V letectví se používá k určení polohy a navigaci nejčastěji rádiových systémů o vysokých frekvencích (např. VOR, DME, ILS, MLS, radiokompas, SSR), družicových systémů (GPS, GLONASS, GALILEO) a zcela nezávislý systém INS.

U velkých dopravních letadel se tyto systémy spojují k dalším systémům jako např. FMS, autopilot, zapisovače letových parametrů, atd. Cena bývá v řádech desetitisíců až stovek tisíc, některé komplexní systémy i v milionech.

#### **3.3.1 Rádiová navigace**

První skupina je obecně závislá na počtu faktorů, mezi které patří:

- rozmístění pozemních majáků
- použití frekvencí



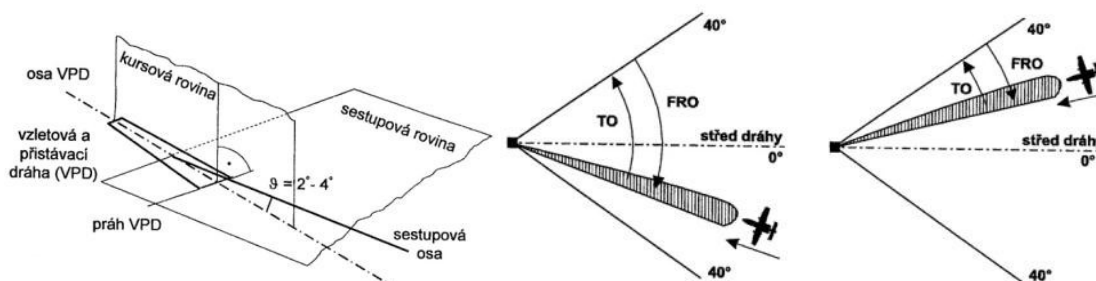
- nastavení a zobrazení na palubě letadla
- častá potřeba použití více systémů najednou (např. ILS, DME a radiovýškoměru pro přesné přiblížení a přistání)

Mezi nevýhody patří např. náročnější výcvik posádky, horší orientace v prostoru a hlavně při stresových událostech, montáž početných zařízení a tím i vyšší váha letadla, velký počet frekvencí a nutnost správného nastavování, atp. U malých letadel (typu Cessna řady 100) nebývá prováděn žádný záznam z těchto systémů, jako tomu je u velkých dopravních letadel, kde jsou umístěná záznamová zařízení letových parametrů, apod. Výhodou je již dlouhodobé zavedení, tím i ověřená správná a stabilní funkčnost a spolehlivost.

Stručným principem těchto systémů je nastavení určité frekvence systému (konkrétněji majáku) na palubě letadla na odpovídajícím ovládacím panelu, tím dojde ke „spojení“ s majákem na zemi, který vysílá/přijímá svůj charakteristický signál. Potom záleží na použití ukazatele k danému systému ke správnému navigování. Rozdíly mezi rádiovými systémy jsou použití antén majáku a letadla, frekvenční pásma (případně použití modulace kódů) a způsoby použití. Ukázky systémů jsou na *Obr. 3.11* a *Obr. 3.12*.



*Obr. 3.11 Ukázka principů VOR (vlevo), DME (uprostřed), SSR (vlevo) [1]*



*Obr. 3.12 Ukázka principu ILS (vlevo), MLS (uprostřed a vpravo) [1]*

### 3.3.2 Družicová navigace

U druhé skupiny byl princip již popsán a využití hledejme v systémech velkých letadel (FMS, autopilot nebo samostatný systém navigace letu nebo přistání - GLS).

FMS používá dat z GPS systému k plánování, záznamu trasy a výpočtům spotřeby paliva a případně stanovení budoucího potřebného množství paliva odvozeného od zadaných parametrů letadla, motorů a zadané trasy a režimů letu.

Moderní autopilot může využívat GPS ke korekcím v řízení a stabilizování odchylek od stanoveného kursu a výšky letadla a jednotlivých režimů ve spolupráci i s jinými systémy. Podle naplánované trasy v FMS může provádět automatické změny v bodech, kde se mění kurs nebo výška letu.

Samostatný systém navigace dle GPS vypadá podobně jako automobilová navigační zařízení (*Obr. 3.13*). Velký rozdíl je v podkladových mapách, která jsou letecká se stanovenými body, majáky, různými letovými oblastmi a další informace uložená v paměti navigačního přístroje. Dalším rozdílem jsou ovládací prvky přístroje, které jsou přizpůsobené použití. Je možné provést naplánování trasy přímo na přístroji nebo na PC, případně stahování provedených letů, které přístroj ukládá na základě snímání polohy.



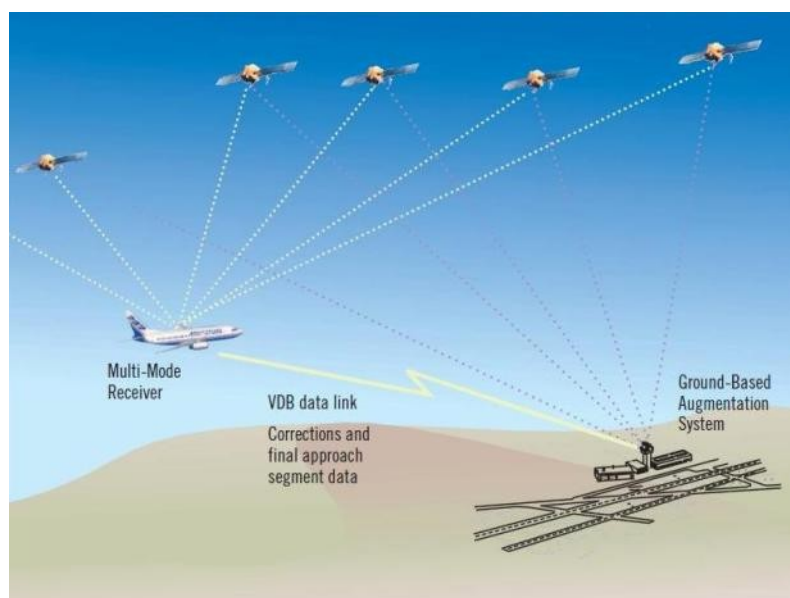
*Obr. 3.13 Externí letecká GPS navigace Garmin AERA 500 [17]*

Ve vývoji a částečném provozu je GLS systém (*Obr. 3.14*), který spolupracuje s GPS daty pro určení a sledování polohy především při přiblížení a přistání. Jedná se tedy o třetí systém po ILS a MLS. Princip je obecně stejný s GPS. Protože tento systém má sloužit pro navigaci k poslednímu a nejnáročnějšímu manévru letu a data GPS nemusí být v každém okamžiku ve vysoké rychlosti letadla naprosto přesná, zařazuje se do systému pozemní stanice nazývaná GBAS. Tato stanice o přesně známé a pevně dané poloze

zpracovává rovněž signály z kosmického segmentu a vysílá korekční data letadlům, která tento systém používá. Tím se zaručí co nejpřesnější informace o poloze letadla a nasměrování k prahu dráhy. Jedna stanice GBAS je schopna zajistit data o všech ranvejích a poloze všech letišť v určité vzdálenosti od stanice s určitou přesností.

Mezi hlavní výhody oproti ILS patří:

- snížení počtu používaných nosných frekvencí
- snížení počtu vysílacích majáků
- optimalizace a vytvoření různých tvarů sestupových rovin (i více na jednu dráhu) podle potřeby se zajištěním rozestupů a výšky nad terénem
- snížení spotřeby paliva letadel, lepší efektivita a rychlejší provoz letišť



*Obr. 3.14 Rozložení systému GLS [18]*

U malých letadel není možno používat důmyslných systémů jako u dopravních. Z tohoto důvodu se používá pouze samostatné GPS navigace podobně jako u velkých letadel (popsáno výše), která může být na externím držáku nebo lze zabudovat do palubní desky (pokud je na to místo).

Někteří výrobci nových letadel umožňují variantu s dvěma displeji (např. Dynon – *Obr. 3.15*) s konektorem k propojení GPS navigace (*Obr. 3.13*), případně spolupracují s externí GPS anténou, a je možné využívat mapových podkladů přímo na displeji

v různých SW formách. Potom lze zobrazovat kromě letových a motorových ukazatelů i mapy s databází bodů, majáků a oblastí včetně promítnutí databáze terénu ve 2D případně 3D. Tyto zobrazení lze kombinovat s letovými a letově navigačními pohledy a mít přehled potřebných informací na jedné obrazovce přímo před sebou.

Dále lze u některých externích i vnitřních GPS systémů stahovat uložené trasy do PC nebo nahrát naplánovanou trasu a letět podle ní.



*Obr. 3.15 Zástavbová GPS navigace (Garmin GTN 725 – vlevo nahoře) a obrazovky Dynon 1000 s funkcí Skyview (3D zobrazení a zobrazení mapy – vpravo nahoře a dole) [17]*

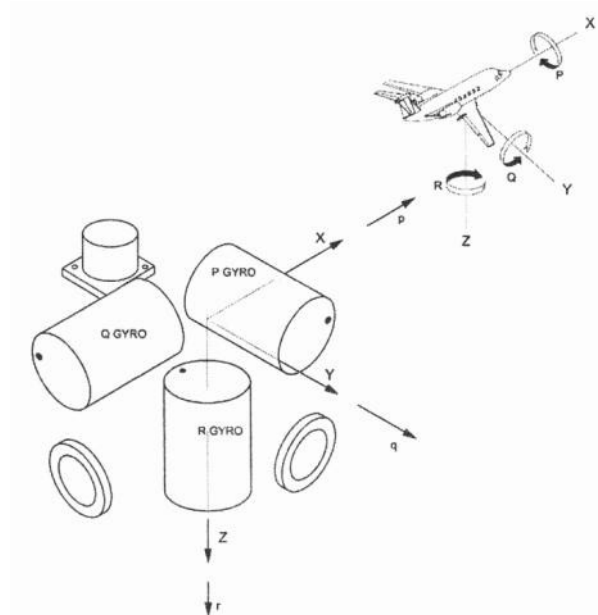
### **3.3.3 Inerciální navigace**

Inerciální navigace (INS) je způsob, jak určovat svou polohu bez závislosti na vysílacích radio-majácích nebo družicích. Podrobný popis systému zde nemá smysl rozebírat, a proto nastíním jen základní položky INS.

Svůj princip zakládá na Newtonových zákonech (setrvačnosti a síly). Tento systém lze dělit na dva konstrukční případy: [1] [2]

- se stabilizovanou základnou
- s pevnou instalací

V obou případech jsou jako základ používány senzory dvou typů: akcelerometry a gyroskopy. Jejich počet a umístění odpovídá snímání veličin pohybu ve všech třech osách letadla (X, Y, Z) – *Obr. 3.16*. Akcelerometry měří velikost reakční síly ve směru osy v závislosti na zrychlení letadla a gyroskopy měří úhlovou rychlost při změně směru nebo otáčení kolem dané osy. Výstupy obou variant jsou přesné polohové souřadnice ve 3D prostoru v každém okamžiku letu.

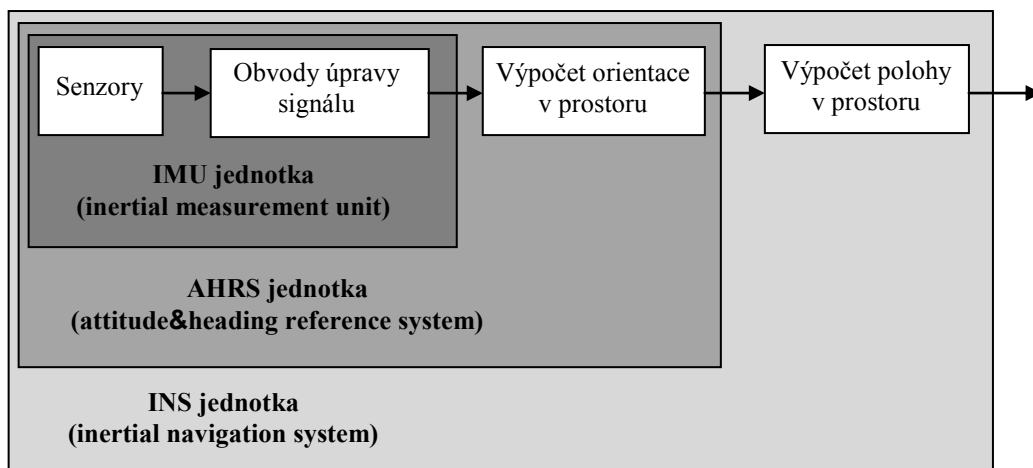


*Obr. 3.16* Soustava měřících členů INS [2]

První varianta INS (se stabilizovanou základnou) má akcelerometry instalované na speciální základně, která je pohyblivá za účelem stabilizace snímače ve vodorovné poloze a s orientací, která je předem nastavená (např. podle zemské souřadné soustavy). Zde se musí provádět příslušné korekce dalšími mechanickými částmi, aby výsledek měření byl co nejpřesnější. Protože tato varianta často bývá objemnější a méně spolehlivá z hlediska použitých pohyblivých korekčních mechanismů, častější výskyt v nových moderních letadlech je dnes druhá konstrukční varianta. [2]

V případě pevné instalace (STRAP-DOWN) jsou akcelerometry nainstalované pevně ke konstrukci letadla a tím se musí převádět naměřené hodnoty v souřadném systému letadla na zemský systém, který provádí k tomu určená výpočetní jednotka. Za podpory vývoje digitálních systémů je tato varianta mechanicky jednodušší a spolehlivější. U této druhé varianty konstrukce se musí provádět počáteční nastavení na zemi, které může trvat desítky minut. Skládá se ze tří bloků jako na *Obr. 3.17*: [2]

- **IMU** – skládá se z akcelerometrů a gyroskopů, snímané signály jsou převáděny do digitální podoby
- **AHRS** – obsahuje výpočetní jednotku, která stanovuje kurz a úhly polohy na základě dat z IMU
- **INS** – vypočítává prostorovou polohu v zadané referenční souřadnicové soustavě a ve spolupráci s GPS provádí korekce pro získání nejpresnějších údajů pro jejich zobrazení a využití autopilotem



*Obr. 3.17 Blokové schéma STRAP-DOWN systému [1]*

Z těchto systémů určování polohy a navigace jsou výstupy zobrazovány systémem EFIS na obrazovkách a sdíleny s dalšími systémy (FMS, autopilot, GPWS, atd.).

### **3.3.4 Sledovací zařízení**

Sledovací zařízení se záznamem dat je několik. U dopravních letounů se rozmohlo využití tzv. ADS-B odpovídače, který sbírá data o poloze z GPS antény a vysílá tyto informace přes vysokofrekvenční rádiovou síť na internetový server, kde lze zobrazit aktuální polohu a pohyb daného letadla přes PC nebo mobilní aplikace. Na *Obr. 3.18* je zobrazeno obecné schéma a internetový portál systému je v *příloze P-VI/1*.



*Obr. 3.18 Schéma ADS-B [19]*

U malých letadel (UL), na kterých není GPS navigace, existuje možnost sledování polohy pomocí pouze GPS zařízení nebo v kombinaci s rádiovým vysílačem.

První varianta, kterou můžete vidět na *Obr. 3.19*, je podobná automobilovým sledovacím zařízením pomocí GPS, s rozdílem pohybu ve 3D prostoru. Musíme tedy snímat nejen polohu v souřadnicovém systému, ale také výšku nad terénem. Vysílání dat může být provedeno stejně jako u automobilů přes GSM síť v závislosti na nastavení. Stahování dat se může provádět také přes kabel nebo jinými zmíněnými způsoby. Principy byly již popsány v předcházejících kapitolách.



*Obr. 3.19 Příklady leteckých sledovacích zařízení (vlevo FT300 s odesláním dat přes GSM, uprostřed EW microRecorder, vpravo Erixx) [20] [21] [22]*

Druhá varianta, která je na *Obr. 3.20*, je používána hlavně u větroňů a plachtařů, kdy zařízení umístěné na palubě snímá polohu z GPS a tyto data jsou posílány rádiově na středisko. Tohoto systému se používá hlavně při plachtařských závodech pro řízení často početného místního provozu. Dosah bývá kolem 100 km.





Obr. 3.20 Příklad sledovacího zařízení s rádiovým vysíláním FT100 [20]

#### 4 Návrh využití GPS technologie pro sledování pohybu letadel za letu

Ve velkých dopravních letadlech dnes můžeme narazit na početnou výbavu moderních technologií, které se běžně používají. Z nich lze zjistit aktuální polohu nebo historii pohybu při letu nebo i po absolvované trase na zemi a vyhodnotit mnoho informací, které lze použít pro různá odvětví letectví.

V malých letadlech používané pro výcvik budoucích pilotů, přezkoušení stávajících nebo jen pro soukromé polétání často nejsou moderní technologie spojené s GPS. Trend přechodu analogových přístrojů na moderní digitální přístroje a obrazovkové systémy je dlouhodobý a pozvolný z různých důvodů. Proto se můžeme setkat s moderními přístroji spíše u letadel pouze pro soukromé účely. Letadla určená pro výcvik stále převládají výbavou klasickými analogovými přístroji bez používání GPS navigací, protože je potřeba při výcviku důkladně pochopit principy jednotlivých základních leteckých systémů a principů.

Letecké školy, které si zakládají na výuce a výcviku podle klasických analogových přístrojů letových parametrů, zásadně nepoužívají a logicky ani nepotřebují pořizovat drahé navigační zařízení. Kromě výcviku také pronajímají svá letadla dalším pilotům. Nicméně z předpisů vyplývá, že po každém letu se musí do Palubního deníku letadla zapisovat údaje, mezi které patří např. datum, čas vzletu a přistání (tzv. Flight Time), místo vzletu a přistání, počet přistání, doba letu a celkový hodinový nálet a přistání letadla.

Protože i piloti jsou také lidé a mohou dělat různé chyby při zápisu zmíněných údajů z různých důvodů a není možné exaktně zkontrolovat správnost, vznikají chyby a



nepřesnosti při následném provádění hlídání limitovaných částí letadel a jiných omezení ovlivňující letovou způsobilost. Důvodem je, že data potřebná pro řízení zachování letové způsobilosti jsou čerpána z Palubního deníku každého letadla a osoba, která provádí sběr dat, přehlédne chybný zápis nebo nemá možnost si jej z nezávislého zdroje ověřit. Tím vzniká chybná hodnota zbývajcího limitu a plánovaná údržba je provedena v jiném termínu než je skutečnost.

Při zvětšování odchylky, kdy plánovaná údržba vychází na dřívější termín, než jaká je skutečnost, se musí provést údržba logicky dříve. Je to lepší varianta z hlediska bezpečnosti, avšak náklady na provoz rostou. Při opačné odchylce, kdy údržba vychází na pozdější termín od skutečného, potom se provádí údržba později. Z prvního pohledu to může mít příznivý vliv na ekonomiku provozu, avšak hrozí vznik závady, která ovlivní bezpečnost provozu. Pokud je to závada, která si vyžádá vyšší náklady na opravu, zhorší efektivitu provozu z hlediska ekonomiky.

#### **4.1 Výběr zařízení a systému**

Z výše zmíněných důvodů jsem provedl výběr zařízení pro sledování polohy za letu podle analýzy trhu zpracovaný v *kap. 3*. Nejdříve jsem si stanovil několik obecných podmínek, které by měly vybraná zařízení splnit a které požaduji a předpokládám:

- spolehlivost provozu za kteréhokoliv počasí a okolních podmínek
- malé rozměry a váha
- jednoduchost instalace
- jednoduchost použití a vyhodnocení dat
- nízká pořizovací a provozní cena

Na základě těchto zmíněných podmínek jsem se rozhodoval, jaké zařízení vybrat ke splnění účelů stanovených již v úvodu práce. Ze všech daných podmínek vyplývá, že výběr se bude vztahovat hlavně ke sledovacím zařízením pracující se systémem GPS, protože pro mé účely je třeba sledovat polohu po čas pohybu objektu se zpětným prohlédnutím informací pro možnost kontroly zapsaných dat v Palubním deníku letadla. Volba GPS systému je z důvodů, kterými se tento systém vyznačuje a patří sem:

- určení polohy s relativní přesností na metry i s výškou nad mořem kdekoli na světě

- určení polohy v jakémkoliv čase s přesností na tisíce sekund
- spolehlivost a jednoduchost provozu při různých okolních podmínkách počasí ve dne i v noci
- dnes běžně dostupný systém bez poplatků za používání služeb

Po podrobném prozkoumání trhu s nabízenými přístroji jsem zúžil výběr na osobní, vozidlové a letecké GPS sledovací zařízení.

Konkrétně se jedná o osobní tracker TK102B pro online sledování, Canmore GP-102+ určen pro turistiku a EU3C Holux M-241 logger pro geocaching. Mezi automobilový výběr jsem zařadil TK106B a Teltonika FM1200 a z leteckých přístrojů TL-6024, FT300 a ERIX.

Nakonec jsem úplně vyřadil automobilová zařízení, protože obsahují mnoho funkcí, které nevyužiji. Navíc většinou pracují s online sledováním, které nepotřebuji pro účely kontroly až po letu a také mohou cenově prodražit používání na základě poplatků za využívání GSM/GPRS datových toků a obsahují druhou externí anténu k tomuto účelu vysílání dat, což zvyšuje nároky na instalaci zařízení.

Podobně jsem uvažoval při výběru mezi leteckými přístroji a vyřadil jsem FT300 kvůli tomu, že je zaměřen pouze na online sledování a nelze ukládat data do interní paměti dlouhodobě a odesílají se automaticky přes GSM/GPRS síť na předem určený server. ERIX a TL mají přibližně podobné pořizovací ceny, ale ERIX je určený spíše pro plachtaře a TL je pro obecné použití (hlavně kategorie UL). TL-6024 jsem si vybral, protože také umožňuje snadnější a rychlejší zobrazení dat spolupracující s prostředím Google Earth oproti druhému přístroji.

V osobních zařízeních jsem hledal výhody ve formě poměru malých rozměrů, ceny, přesnosti a spolehlivosti, jednoduchosti použití a víceúčelovosti v osobním použití i v letectví. TK102B je určen spíše pro online sledování, avšak umožňuje uložení dat na SD kartu. Holux M-241 je hlavně pro geocaching a není zcela přehledně použitelný pro jiné účely. Jednoznačně jsem si vybral GP102+, protože vyhovuje všem výše zmíněným podmínkám a důvodům.

## 4.2 Popis vybraných zařízení

Z předešlé kapitoly jsem vybral dvě zařízení GP102+ a TL-6024. O každém z nich popíšu základní parametry a funkce.

### 4.2.1 Přístroj Canmore GP102+

Je to malý záznamník polohy určený pro turistiku a horskou turistiku využívající systém GPS. Může se využívat jako cyklokomputer, krokoměr nebo záznamník ujetých kilometrů a projeté trasy v automobilu a další. Jeho velikost je obrovskou výhodou a může se připnout ke svazku klíčů. Více na obrázcích a tabulce níže. [23]

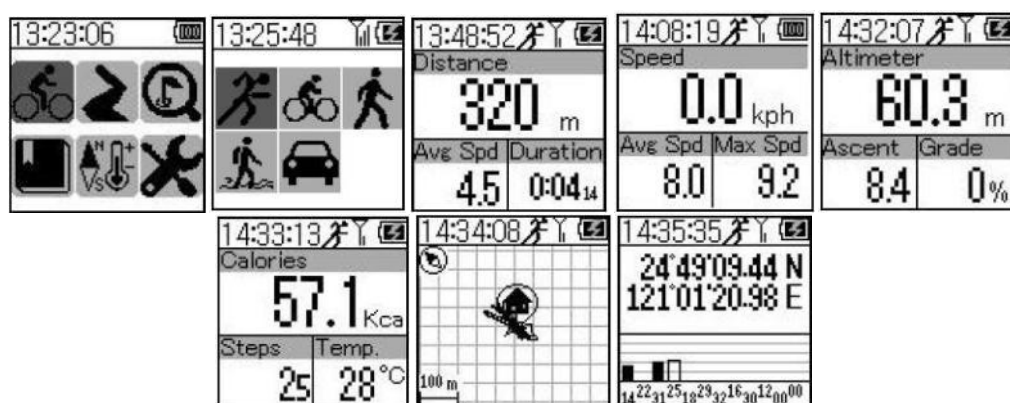


Obr. 4.1 Canmore GP102+ ve třech barevných variantách a různé zobrazení [23]

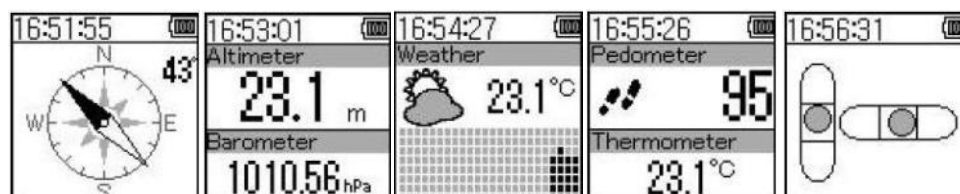
Název	Parametry, informace	Název	Parametry, informace
<b>Rozměry (VxŠxH):</b>	70x35x16 [mm]	<b>Typ přijímače:</b>	L1/ 1575,42 [MHz]
<b>Váha:</b>	40 [g]	<b>Kódování:</b>	C/A
<b>Provozní teplota:</b>	-20 až +60 [°C]	<b>Počet verifikačních kanálů:</b>	48
<b>Propojení s PC:</b>	USB kabel	<b>Chipset:</b>	Sirf-IV
<b>Vstupní napětí:</b>	5 [V DC]	<b>Horizontální přesnost:</b>	±3 [m]
<b>Akumulátor:</b>	Vestavěný Li-Ion, nabíjecí	<b>Vertikální přesnost:</b>	±5 [m]
<b>Výdrž baterie se zapnutým GPS režimem:</b>	17 až 20 [h]	<b>Přesnost určení rychlosti:</b>	±0,1 [m•s <sup>-1</sup> ]
<b>Výdrž baterie bez GPS:</b>	600 [h]	<b>Studený start GPS:</b>	< 34 [s]

Název	Parametry, informace	Název	Parametry, informace
<b>Displej:</b>	LCD	<b>Opětovný start:</b>	1 [s]
<b>Odolnost proti vodě:</b>	IPX6	<b>Paměť:</b>	Interní Flash disk 3 [MB] (až 250 tis. záznamů z trasy)
Název		Parametry, Informace	
<b>Základní funkce (Obr. 4.2):</b>		Sporttracker, Plánovač trasy, Geotag režim, Historie, Další funkce a Nastavení	
<b>Sporttracker režimy (Obr. 4.2):</b>		běh, kolo, chůze, turistika, auto	
<b>Další funkce (Obr. 4.3):</b>		magnetický kompas, barometrický výškoměr a tlak, předpověď počasí, krokoměr a teplota, vodováha	

Tab. 4.1 Základní parametry, informace a funkce GP102+ podle Data Sheet a User's Manual [23] [24]



Obr. 4.2 Základní funkce a režimy podle Tab. 4.1; postupně zleva nahoře hlavní menu, sporttracker menu s režimy a od třetího obrázku jsou příklady zobrazení při režimu běh [24]



Obr. 4.3 Další funkce (samostatné) podle Tab. 4.1 [24]

Funkce plánovač slouží hlavně pro zobrazení naplánované trasy v PC programu a pro navigování podle dané trasy. Geotag slouží k nasměrování k předem zadanému bodu o konkrétních souřadnicích (může se jednat o nějaké oblíbené, významné místo) a to buď

zadaného přes PC, nebo přímo na přístroji při spuštěném režimu sporttracker při vyvolání nabídky „Save as POI“. Tyto dvě funkce mají podobný princip a pro mé účely je nepotřebuji. [24]

Funkce historie je seznam zaznamenaných tras ve sledu datumu a čase počátku záznamu s konkrétní ikonou sporttrack režimu. Po rozkliknutí konkrétní trasy je zobrazen výpis jednotlivých celkových informací (např. vzdálenost, prům. a max. rychlost, výška apod.). Dále je zde zobrazení trajektorie zaznamenané trasy podobně jako na *Obr. 4.2* – druhý zleva v druhé řadě. Historie slouží hlavně jako přehled uložených tras a jejich kontrolu. [24]

V menu nastavení lze stanovit různá pravidla a nastavení. Prvním je pravidlo záznamu podle: [24]

- a) času – po 1, 5, 10, 30 nebo 60 sekundách
- b) vzdálenosti – po 5, 10, 20, 50, 100, 200 nebo 500 metrech

Druhé pravidlo je určení začátku a konce záznamu dat při dosažení určité rychlosti, která může být: [24]

- a) žádná – záznam se odehrává od spuštění sporttrack režimu od 0 rychlosti bez přestávky
- b) zastavovací – je výrobcem stanovená rychlost pro vytvoření pauzy v záznamu při jakémkoliv použitém sporttrack režimu (tato rychlost činí  $1,5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ )
- c) libovolná – uživatel si může sám zvolit rychlost, při které se začne ukládat aktuální poloha nebo ukládání ukončí (volba činí od 0 do  $98 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ )

Dále lze v nastavení určit údaje o uživateli (pohlaví, datum narození, aktuální váha). Také je možné provést požadovanou kalibraci výškoměru (ručním nastavením tlaku nebo pomocí GPS) pro přesnější měření výšky, protože barometrický tlak se mění. Pokud se tracker dlouho nepoužívá, je jistě správné kalibrovat i kompas ručním horizontálním otáčením trackeru podle hodinových ručiček po dobu 20 s. [24]

Mezi poslední možnosti nastavení patří volba GPS režimu (DGPS nebo Self-AGPS) a systémová nastavení přístroje (podsvícení displeje a kontrast, čas, jednotky, formát souřadnic polohy, jazyk a další). Všechny možnosti nastavení včetně správy

uložených dat a jejich stahování, případně upload naplánovaných tras, lze provádět přes PC program, který lze stáhnout ze stránek výrobce i s manuálem. [24]

#### 4.2.2 Přístroj TL-6024

Jedná se o letecký záznamník trasy (využívající GPS), instalovaný převážně na letadla kategorie UL. Vyrábí se i ve verzi GWG, který zároveň může vysílat data přes GSM/GPRS síť. Já si vybral jednodušší a levnější verzi pro své účely. Více na obrázcích a tabulce níže. [25]



Obr. 4.4 TL elektronik TL-6024 [25]

Název	Parametry, informace	Název	Parametry, informace
<b>Rozměry (VxŠxH):</b>	38x57x170 [mm]	<b>Typ přijímače:</b>	L1/ 1575,42 [MHz]
<b>Váha zařízení:</b>	200 [g]	<b>Kódování:</b>	C/A
<b>Provozní teplota:</b>	-20 až +70 [°C]	<b>Počet verifikačních kanálů:</b>	12
<b>Propojení s PC:</b>	RS-232/USB kabel	<b>Horizontální přesnost:</b>	±5 [m]
<b>Vstupní napětí:</b>	10 až 32 [V DC]	<b>Vertikální přesnost:</b>	±10 [m]
<b>Akumulátor:</b>	žádný	<b>Přesnost určení rychlosti:</b>	±0,5 [m•s <sup>-1</sup> ]
<b>Studený start GPS:</b>	< 45 [s]	<b>Paměť:</b>	Interní Flash disk 32 [MB] (až 100 tis. záznamů z trasy)
<b>Opětovný start:</b>	2 [s]		

Tab. 4.2 Základní parametry a informace o TL-6024 podle výrobce a User's Manual [25] [26]

Tento přístroj je již při výrobě nastaven na pravidla záznamu po časových intervalech 10 s a minimální rychlosti začátku a ukončení záznamu 50 km•h<sup>-1</sup>. Na rozdíl od předchozího zařízení, které při poklesu pod stanovenou rychlost provede pauzu

v záznamu a uložení trasy se potvrdí manuálně, TL uloží trasu automaticky po 10 sekundách, pokud se mezitím rychlost objektu opět nezvýší. [26]

Protože je tento přístroj určen pouze pro vyhrazené použití, nemá další funkce a ani nastavení. Data lze stahovat do PC pomocí dodávaného programu výrobce, které lze také stáhnout na jejich webových stránkách. [26]

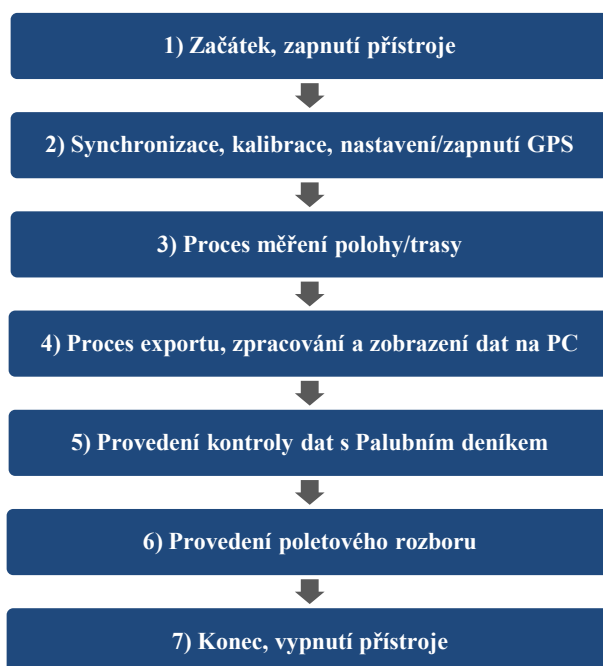
### 4.3 Algoritmus pro sběr a vyhodnocování naměřených dat

V této části stanovuji algoritmus formou vývojového diagramu pro měření, získávání dat a možnosti jejich využití s použitím vybraných zařízení k měření. Obecné účely využití dat jsem již stanovil na začátku práce. Jedná se o využití:

- 1) pro kontrolu informací zapisovaných do Palubního deníku (datum, čas a místo startu a přistání, doba trvání letu a počet letů)
- 2) vyhodnocení a kontroly trajektorie a výšky letu při výcviku pro poletový rozbor

#### 4.3.1 Obecný diagram algoritmu

Z důvodu snadnějšího pochopení principu celé činnosti zde popíšu obecný diagram k algoritmu řešené problematiky. Obecný algoritmus na Obr. 4.5 definuje hlavní části vývojových diagramů uvedených v kap. 4.3.2.



Obr. 4.5 Obecný vývojový diagram algoritmu; popis částí uveden za tímto obrázkem

1), 7) je začátek nebo konec celého procesu, je zde zařazeno ruční zapnutí nebo vypnutí použitého přístroje.

2) jedná se o fázi vykonanou automaticky/ručně ihned po zapnutí přístroje, kdy přístroj musí provést synchronizaci se systémem GPS a nalézt družice v dosahu. Potom se provádí úprava času a kalibrace, případně potřebná nastavení podle konkrétního přístroje.

3) po synchronizaci a další přípravných kroků, přístroj nepřímo sleduje a vyhodnocuje aktuální rychlost pohybu přijímače a v případě překročení stanovené minimální rychlosti pro záznam, zapne logování a ukládá data do své paměti. Toto se provádí, až do doby, kdy klesne rychlost pod stanovenou a uloží všechny body do souvislé trasy jako jeden soubor.

4) tento krok zahrnuje export dat do PC, jejich kontrolu a přípravu na následující kroky.

5) zde se provádí porovnání naměřených dat se zapsanými daty v Palubním deníku letadla. Při nalezení chyby se provádí náprava zápisu. Podrobnosti v *kap. 6.2.1*.

6) tento krok zastupuje proces poletového rozboru především při výcviku. Příklady v *kap. 6.2.2*.

#### **4.3.2 Konkrétní vývojové diagramy**

Na úvod této kapitoly bych chtěl říci, že kvůli zachování přehlednosti a struktury práce jsem obrázky vývojových diagramů umístil do příloh. Ke každému přístroji zde uvedu jeden popis diagramu a k němu odkaz na příslušný diagram. Funkční principy a postupy jsou řešeny podle manuálů přístrojů a programů: [23] [24] [26] [27]

#### **Vývojový diagram k TL-6024**

Obrázek diagramu je v *příloze P-VII/1 až P-VII/5*. Následuje popis jednotlivých částí:

Na začátku procesu **zapneme přístroj pomocí „Master Switch“** a zároveň se na max. 1 sekundu rozsvítí dioda, která nám signalizuje zapnutí přístroje. Pokud by k tomu nedošlo, doporučuji překontrolovat správnost zapojení kabelu k napájení přístroje.



Po zapnutí následuje automatická synchronizace se systémem GPS, která trvá max. 1 min. Připravenost přístroje nám signalizuje dioda dvojitým bliknutím přibližně každou sekundu. Dokud dvojitě neblíká, musíme vyčkat na synchronizaci.

Při pojíždění pravděpodobně nevyvoláme rychlost větší jak  $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , která je nastavená v přístroji pro začátek nebo konec nahrávání dat. Při vzletu však určitě překročíme nastavenou rychlost a probíhá automatické nahrávání dat o poloze, rychlosti atd. v určitých sekundových intervalech. To se nám signalizuje svícením diody bez přestávky až do doby ukončení letu, při kterém klesne rychlost pod stanovenou. Pokud pilot do 10 s nezvýší rychlost opět nad stanovenou, přístroj všechny nahrávaná data uloží jako jednu trasu do své paměti. V případě, že ke zvýšení rychlosti nedojde do 10 s, ale např. po 15 s, proces měření se zahájí okamžitě jako nový.

Když ukončíme let, vypneme „Master“ a nepotřebujeme provést kontrolu dat nebo poletový rozbor, ukončíme tím celý proces, data zůstanou uložená v přístroji a celý proces doposud popsany začne opět s novým letem a pohybem letadla.

Pokud potřebujeme provést kontrolu dat nebo poletový rozbor, propojíme přístroj s PC pomocí datového kabelu do USB portu. Zapneme „Master“ a následně program TL-Control. Dojde při tom ke spárování komunikace přístroje a programu, které může někdy trvat i cca minutu kvůli automatickému synchronizování přístroje s GPS. Pokud provádíme propojení úplně prvně, musíme ručně nastavit USB port PC pro komunikaci s přístrojem a stejné číslo portu nastavit v programu TL-Control a ten sám vyhledá přístroj. V případě, že první nastavení portu bylo úspěšné a připojujeme přístroj už po několikáté a hlavně do stejného USB portu, vyhledání přístroje proběhne zcela automaticky. Jestli nedošlo ke spárování komunikace a přístroj nebyl nalezen, doporučuji vypnout program, přístroj a odpojit jej a celý proces zopakovat.

V opačném případě můžeme pokračovat k exportu dat, který provedeme ručně kliknutím na „Load data“ (více v *kap 5.4*) a vybereme umístění (do složky podle svého uvážení). Následně můžeme sledovat průběh exportu, při kterém se může vyskytnout chyba, kterou program nahlásí. Opravu provedeme opětovným exportem dat se stejným umístěním složky (nyní se exportuje pouze chybová trasa). Po úspěšném exportu můžeme zavřít program TL-Control, vypnout „Master“ a odpojit datový kabel od PC.

Zapneme program Google Earth a otevřeme/importujeme vybranou trasu (více v *kap. 6.1.3*), která se nám zobrazí. Provedeme kontrolu zobrazených dat především na jejich celistvost a realnost.

Nyní se můžeme rozhodnout, zda provedeme kontrolu údajů s Palubním deníkem (např. kvůli podezření na chybný zápis provedený pilotem, jako v *kap. 6.2.1*) nebo přejdeme na poletový rozbor. V případě, že se **rozhodneme provést kontrolu dat**, ze zobrazené trasy zjistíme datum, časy, počty přistání apod. Provedeme kontrolu porovnáním a v případě, že se **zásadně liší od sebe**, provedeme příslušné opravy v deníku. V opačném případě pokračujeme dále a můžeme provést poletový rozbor.

V případě **provedení poletového rozboru** (více v *kap. 6.2.2*), který nejspíš bude na vyžádání instruktora při výcviku, upravíme zobrazení tak, jak bude nejlépe vyhovovat pro rozbor dané problematiky. Tento proces můžeme opakovat až do ukončení rozboru.

Nakonec vypneme všechny programy.

### **Vývojový diagram k GP102+**

Obrázek diagramu je v *příloze P-VIII/1 až P-VIII/6*. Protože obecný princip i některé konkrétní procesy jsou stejné jako u zařízení TL-6024, popíšu jen rozdíly v tomto diagramu.

Zapnutí přístroje probíhá přes 2 s podržení pravého tlačítka. To zda je zapnut nám signalizuje podsvícení tlačítek. Synchronizace proběhne také automaticky po zapnutí přístroje, což poznáme podle zobrazení signálů družic na displeji. Až skončí synchronizace, na displeji se zobrazí hlavní menu.

U tohoto přístroje je správné provést po zapnutí také kalibraci a potřebná nastavení podle vlastního uvážení. Kalibraci provedeme přes: *hlavní menu* ► *nastavení* ► *kalibrace*. Kalibrujeme výškoměr automaticky podle GPS, případně ručním nastavením, a kalibrujeme také kompas. Při kalibraci výškoměru podle GPS musíme mít dobrý příjem signálu a kalibrace trvá cca 30 s až 1 minutu. Kompas se kalibruje otáčením ve vodorovné poloze po směru hodinových ručiček po dobu cca 20 s. Potřebná další nastavení, intervaly logování, minimální rychlost pro nahrávání dat apod., se provádí přes menu *nastavení*.

Zapnutí GPS antény se musí provést přes hlavní menu výběrem sporttracker (první ikona), kde následuje výběr konkrétního režimu. My volíme režim automobil z důvodu lepších parametrů pro nahrávání dat při vyšších rychlostech.

Proces měření je podobný jako u předchozího přístroje s rozdílem, že když klesne rychlost pod stanovenou, přístroj provede **pauzu** v nahrávání/měření dat a čeká na zvýšení rychlosti. Pokud se zvýší rychlost, pokračuje v daném časovém okamžiku v nahrávání dalších dat. Jestli se ale rozhodneme ukončit měření, např. z důvodu ukončení letového dne, musíme ručně 2 s podržením pravého tlačítka vyvolat nabídku, kde vybereme **„Stop log“**. Přístroj automaticky uloží všechny dosavadní data jako jednu trasu.

Dalším rozdílem je připojení k PC. V přístroji je integrován USB konektor a k němu USB kabel, který zajistí jednodušší propojení a komunikaci s PC než u předchozího přístroje. Kontrolu propojení můžeme provést podobně jako u propojení mobilního telefonu nebo podobného zařízení.

Pro export dat do PC provedeme zapnutím programu CanWay a tlačítkem exportu se zobrazí tabulka s výběrem tras. Vybrané trasy potom program exportuje do svých složek a souborů. Když nenastane chyba, ihned poslední aktuální trasu zobrazí ve svém prostředí. Jiné trasy zobrazíme kliknutím v seznamu tras na námi vybranou.

Kontrolu s Palubním deníkem letadla můžeme provést již v tomto programu CanWay jako v *kap. 6.2.1*.

Poletový rozbor provedeme tak, že nejdříve v programu CanWay vybereme požadovanou trasu v seznamu a klikneme v panelu nástrojů: *soubor►export►GPX*. Vybereme umístění souboru v PC a program exportuje trasu do souboru GPX. Zapneme program Google Earth a v panelu nástrojů přejdeme k importu přes: *nástroje►GPS*. **Zaškrtneme možnost „Importovat ze souboru“**. Dále je správné mít zaškrtnuto „Navigační body“, „Cesty“, „Trasy“, „Trasy KML“ a „Prvky LineString KML“. **Doporučuji odškrtnout možnost „Upravit nadmořské výšky podle výšky země“** z důvodu automatického vykreslení trasy ve 3D (tedy i s reálnými absolutními výškami). Dáme importovat vybraná data GPX, která se nám zobrazí.

Pro lepší zviditelnění 3D musíme najít v postranním panelu složku „Tracks“ a pravým tlačítkem myši na trasu v této složce kliknout a zvolit „Vlastnosti“ a najít záložku

„Výška“, kde **zaškrtneme** možnost „*Prodloužit na zem*“. Upravíme potřebné zobrazení pro rozbor a provedeme jej.

Po ukončení rozboru zavřeme programy a odpojíme přístroj a nakonec jej vypneme v hlavním menu výběrem ikony „OFF“.

## **5 Částečná realizace sledování pohybu letadel za letu**

Nyní nás čeká popis potřebných úprav a přípravných kroků k instalaci, provedení samotné montáže na letadlo a minimálně zkušební ověření správné funkce a nastavení před zavedením do běžného provozu. Mimo to krátce nastíním průběhy dalších měření a postupy a způsoby stažení dat do PC.

### **5.1 Sestavení částí zařízení a ověření správné funkce**

Nejdříve krátká zmínka k zařízení GP102+. Protože toto zařízení je se všemi nezbytnými funkčními částmi již sestaveno do jednoho bloku od výrobce, není potřeba fyzické úpravy ke zprovoznění přístroje. Pouze je zapotřebí mít USB kabel k propojení s PC nebo pro potřeby napájení/dobíjení zařízení ze sítě letadla. [24]

Při prvním zapnutí nebo po dlouhé době vypnutého přístroje se musí synchronizovat se systémem GPS. To si vyžádá přístroj automaticky na základě vlastního nainstalovaného firmwaru. Po zapnutí a synchronizaci jsem provedl ověření funkce dvou základních režimů sporttrackeru (chůze a automobil). Po uložení absolvovaných tras v zařízení, jsem si je prohlédl ve funkci „Historie“ a ověřil, že zařízení pracuje skutečně správně. [24]

#### **5.1.1 Příprava přístroje TL-6024**

U tohoto přístroje se musí provést přípravné kroky před montáží na letadlo v mnohem větší míře než je tomu u GP102+. Hlavní částí je tzv. letový zapisovač údajů TL-6024, který je od výrobce dodáván jako samostatný blok. Společně s ním je v balení tištěný manuál, CD s el. verzí manuálu, aktuálního firmwaru, PC programu a další návody. Kromě toho je dodáván také 15 pinový konektor (samice) z důvodu možnosti napájení různých drátů pro konkrétní účely zákazníka, který si sám stanoví, co všechno využije a jakým způsobem provede instalaci.

Pokud zákazník nemá externí GPS anténu a propojovací kabel s PC (Obr. 5.1), je možné u výrobce zvlášť objednat tyto „externí“ části tohoto systému, které nejsou součástí balení TL-6024.



*Obr. 5.1 Vlevo je příklad externí GPS antény a vpravo sada propojovacích elementů včetně CD s ovladači pro správnou komunikaci přístroje s PC [25]*

Při úpravě kabeláže jsem hlavně využil popisu, postupů a schémat z manuálu daného zařízení a rad výrobce. Provedl jsem menší změny a úpravy tak, aby bylo možné zařízení poměrně snadno kdykoliv nainstalovat nebo demontovat podle potřeby a zároveň upravil některé obvody pro možnost napájení ze sítě 12 nebo 24V. Důvody tohoto rozhodnutí popisují v úvodních odstavcích *kap. 5.2*.

### **Popis výroby kabeláže:**

Podle schématu a tabulky v příloze P-IX/1 jsem postupně napájel jednotlivé dráty následovně:

- 1) Na dodaném 15 pinovém konektoru jsem jako první propojil piny č. 8 a 15.
- 2) Totéž jsem provedl s piny č. 9 a 1.
- 3) Vzal jsem stíněný kabel s více vodiči (přibližně 1 m dlouhý), upravil konce a stínění tak, aby bylo možné bez problému napájet 4 vodiče (různé barvy) na piny č. 3, 4, 11 a 12. Následně jsem je připájel k 15 pinovému konektoru.
- 4) Upravil jsem konce na stejných vodičích a stínění na opačné straně kabelu. Pospojoval jsem jednotlivé vodiče tak, aby pin č. 3 na konektoru u zařízení byl spojen s 9 pinovým konektorem na pin č.

5. Podobným způsobem jsem spojil č. 4 s č. 2, č. 11 s č. 4 a č. 12 s č. 3.
- 5) Stínění na obou koncích jsem připájel na kovové tělo příslušných konektorů.
- 6) Pokračoval jsem v propojení na 15 pinovém konektoru tím, že jsem vyvedl vodič z pinu č. 10 a v přiměřené vzdálenosti daného vodiče jsem připájel jeden držák na trubičkové pojistky jedním svým vývodem a druhý vývod spojil s pinem č. 15. (POZN. 1)
- 7) Upravil jsem vývody diody tak, aby dioda byla umístěna mimo ochranný kryt konektoru. Napájel jsem přes další vodič katodu LED diody k pinu č. 2 a anodu na jeden konec odporu. Druhý vývod z odporu jsem napájel na vývod dalšího držáku na pojistky a druhý konec jsem připojil přes kus vodiče na pin č. 8. (POZN. 2)
- 8) Do obou držáků na pojistky jsem vložil trubičkové/skleněné pojistky o velikosti 0,23 A.
- 9) Potom jsem vzal kabel se dvěma vodiči (přibližně 0,5 m) a upravil konce, abych mohl jeden vodič připájet na pin č. 8 a druhý vodič na č. 1.
- 10) Nakonec jsem demontoval koupený adaptér k auto-zásuvce (pro 12/24 V) a připojil vodiče, aby pin č. 8 byl spojen s kladným pólem a pin č. 1 se záporným pólem. Při složení adaptéru jsem vyměnil trubičkové pojistky za pojistku o velikosti 3 A, abych splnil ochranu obvodu napájení podle schématu. (POZN. 3)

*POZN. 1 Vývod z pinu č. 10 by se měl podle výrobce spojit s hlavním palubním vypínačem. Z důvodu snadné instalace/demontáže jsem tento obvod propojil s napájením. Navíc napájení zásuvky na palubě letadla je propojeno se zmíněným vypínačem.*

*POZN. 2 Použil jsem červenou LED diodu pro signalizaci s parametry 3,2 V a 20 mA. Podle výrobce v obvodu vevnitř zařízení je na vstupu pinu č. 2 zařazen odpor o*

velikosti 560  $\Omega$ . Pro jistotu jsem vložil ještě další předřadný odpor o velikosti 1 k $\Omega$ , abych zmírnil zátěž při napájení 24 V ze sítě letadla.

*POZN. 3* Pozici této pojistky jsem na schématu neupravil z důvodu lepší přehlednosti. Na účelu funkce pojistky nemá vliv, zda je umístěna na začátku kabelu nebo v konkrétní větvi obvodu. To mi také zjednodušilo úpravu kabelu a konektor u zařízení nemusí být v konečném důsledku více mohutný.

Za účelem ověření správné funkce jsem zapojil všechny externí části se zařízením TL-6024 a zapojil do zásuvky v automobilu a vyrazil na krátkou cestu. Po celou dobu jsem sledoval diodu a řídil jsem se pokyny podle Tab. 5.1.

Frekvence blikání	Počet	Význam/popis
•• •• ••	2x	Nedostatečný signál GPS, připraven k nahrávání
••• ••• •••	3x	Chyba v nastavení paměti
•••• •••• ••••	4x	Chyba provozu paměti
••••• ••••• •••••	5x	Chyba v paměti dat
————	trvalé svícení	Probíhá nahrávání
••••••••••••••••	stálé blikání	Kontrola firmwaru

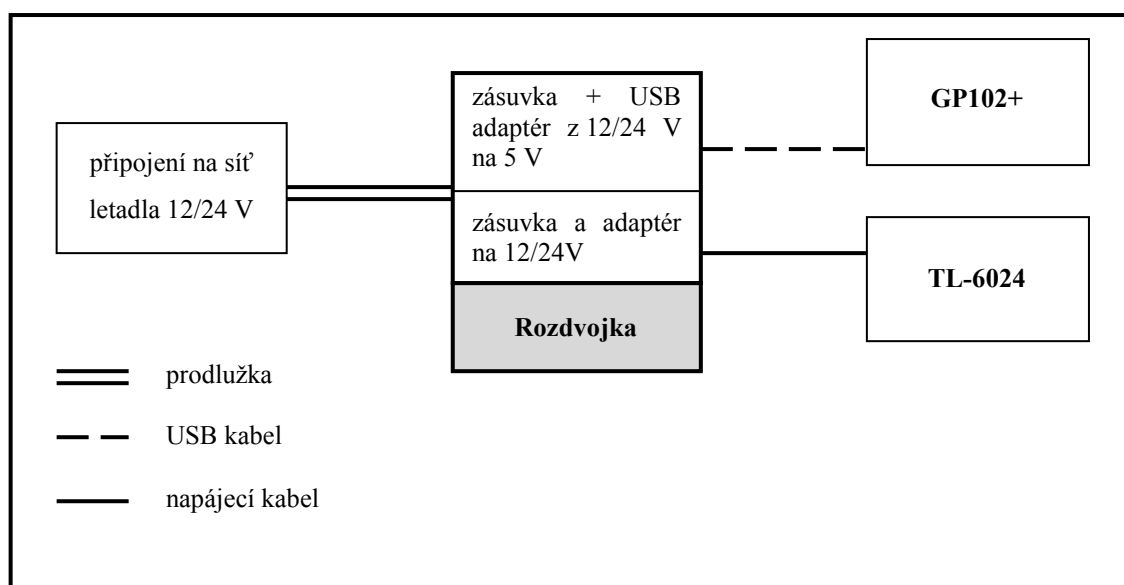
Tab. 5.1 Signalizující stavy pro TL-6024 [26]

## 5.2 Montáž zařízení na letadlo

Uvažoval jsem nad instalací přístrojů pro delší dobu používání na letadle a zohlednil faktory obecně vztahující se na certifikované letadlo a zařízení, které není zatím schváleno pro pevnou a trvalou montáž (např. pomocí STC dokumentu, který je schválen výrobcem letadla a tím i konkrétními úřady). Proto jsem zařízení TL-6024 upravil tak, aby bylo možné kdykoliv a jednoduše nainstalovat nebo demontovat. Zařízení GP102+ je již samotné velmi jednoduché a nepotřebovalo tedy žádné úpravy.

Pro účely diplomové práce jsem si vybral, jako objekt instalace, letadla typu Cessna C172N (reg. zn. OK-BBC) a C152 (reg. zn. OK-LFA) ve vlastnictví společnosti LET'S FLY s.r.o. Obě jsou v kategorii do 5700 kg a určená pro letecké práce a rekreační nebo sportovní účely. Jsou vybavené standardní auto-zásuvkou na palubní desce a palubní síť je 24 V.

Pro instalaci GP102+ a TL-6024 bez zásahu do konstrukce letadla jsem použil suchého zipu a chemoprenu. Na začátku jsem obecně stanovil, že zařízení a jejich části budou umístěny v zavazadlovém prostoru. Vzhledem k malé váze zařízení a malé vzdálenosti od těžiště jsem nijak nenarušil faktory váhy a vyvážení letadla. Protože umístění přístrojů je daleko od zásuvky na palubní desce, musel jsem tedy zavést prodlužovací kabel dostatečně dlouhý. Aby bylo možné napájet obě zařízení, vložil jsem na konec prodlužky rozdvojku s jedním adaptérem na připojení USB kabelu. Více na blokovém schématu - *Obr. 5.2*.



*Obr. 5.2 Blokové schéma zapojení zařízení k síti letadla*

Po rozmístění zařízení jsem chemoprenem nalepil jednu část suchého zipu na zadní stranu GP102+, TL-6024 a rozdvojku zásuvky. Druhou část zipu jsem nalepil na obložení konstrukce v zavazadlovém prostoru. Spojil jsem napájecí části podle schématu.

Dále jsem umístil GPS anténu TL-6024 na zadní okno způsobem, který zajistí nejlepší možný příjem signálu a nebude ovlivňován vysílacími prvky radiokomunikace. Navedl jsem kabel z antény pod obklady až k zařízení a zapojil na příslušný konektor. Podobně jsem pod koberci a obložením natáhnul kabel k propojení s PC, z důvodu rychlého a snadného stažení dat ze zařízení kdykoliv je potřeba. Druhý konec s konektorem USB jsem vždy zavedl k místu, kde je snadný přístup z vnější strany letadla (např. pod kobercem u dveří zavazadlového prostoru nebo za sedačkami pilotů v blízkosti dveří).

Fotografie nainstalovaných zařízení a částí jsou v příloze P-X/1 a P-X/2.



### 5.3 Zkušební lety, úprava nastavení parametrů a další měření

Po úspěšné instalaci se můžeme konečně posunout ke zkušebním měřením, která jsem provedl společně s instruktorem okamžitě, kdy nastaly přijatelné letové podmínky. Jakmile jsme ukončili měření, stáhnul jsem data do počítače a provedl jejich kontrolu a rozbor.

Na základě zjištěných minimálních letových rychlostí a maximálních pojížděcích rychlostí jsem stanovil hodnotu rychlosti, kterou jsem nastavil na přístroji GP102+. Tato rychlost odpovídá  $40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  s určitými rezervami ( $\pm 15 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ). TL-6024 má od výrobce nastavenou rychlost  $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  a nelze ji měnit. Nicméně tato rychlost vyhovuje požadavku.

Dalším faktorem je interval snímání polohy po čas měření. TL-6024 má tento interval předem nastaven po 10 sekundách a také nelze měnit. Pro normální lety bez velmi ostrých zatáček a manévřů to vyhovuje.

Ovšem na základě zkušebních i dalších naměřených dat jsem zjistil, že právě při prudkých manévrech tento interval nevyhovuje a často se vyskytují nepřesnosti ve vykreslené trati. Na GP102+ lze interval snímání nastavit na různé hodnoty a varianty, které jsem zmínil v *kap. 4.2.1*. Při nastavení intervalu na 1 s jsem měl vždy jistotu přesně vykreslené trati v počítačovém programu. To je výhodné hlavně při provádění výcviku.

Více o provádění letů a hlavně výstupní data z měření v *kap 6*.

### 5.4 Uložení naměřených dat

Určitě jsem již zmínil, že ukládání dat probíhá u obou zařízení podobným způsobem na interní paměť. Z ní lze stáhnout tyto data pomocí USB kabelu nebo převodního kabelu RS-232 na USB port a současně při použití konkrétního programu.

U GP102+ je propojení jednoduché a provádí se stejně jako u jiných dnes moderních přístrojů (mobilní telefony, tablety a podobná zařízení). Stažení se provádí pomocí tlačítka „nahrát trasu“ v liště programu CanWay jako je znázorněno na *Obr. 5.3* a zobrazí se okno s výběrem tras. [23]

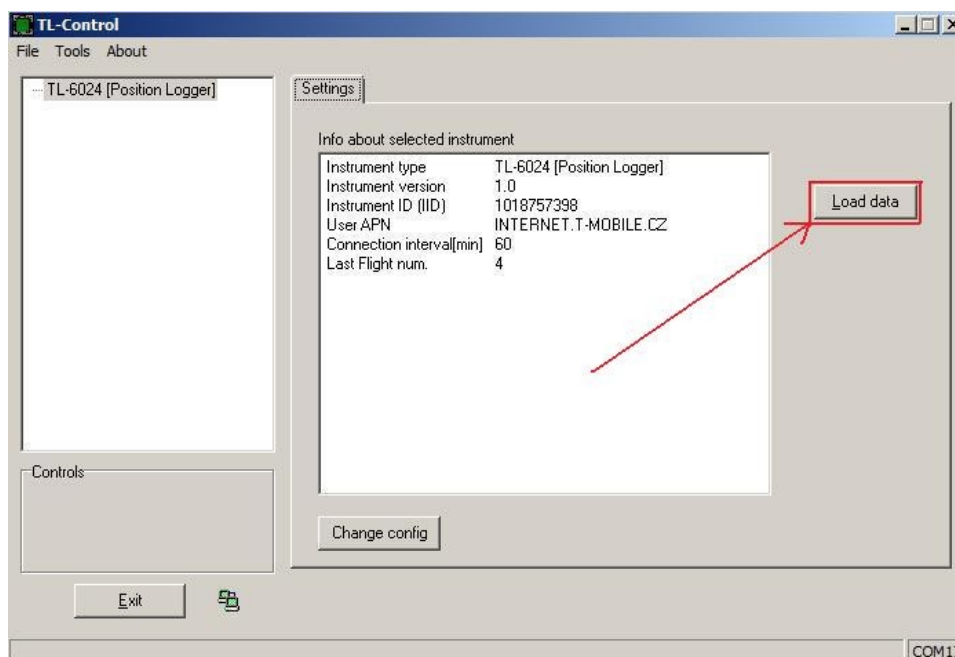


Obr. 5.3 Tlačítko „nahrát trasu“ pro export dat ze zařízení do PC v programu CanWay [23]

TL-6024 je propojen přes kabel RS-232 s USB konektorem. Zde musí být zachován způsob navázání spojení se zařízením v následujících krocích:

- 1) Při vypnutém zařízení zapojit USB konektor do PC
- 2) Zapnout zařízení
- 3) Spustit program TL-Control

Při úplně prvním spojení musíme sesouhlasit a nastavit konkrétní USB port na PC s programem a pak by měl program nalézt zařízení. Při dalších spojení uvidíme, že program TL-Control rozpozná zařízení automaticky. Potom je možné kliknout na „Load data“ (viz Obr. 5.4) a zobrazí se nabídka s výběrem umístění dat. [25]



Obr. 5.4 Tlačítko „Load data“ v programu TL-Control [25]

Po výběru umístění proběhne export dat do dané složky. Při dalším ukládání na stejné umístění se exportují jen ty data, které nejsou v dané složce.

## **6 Výstupy z měření, jejich vyhodnocení a využití**

Na základě provedeného zprovoznění, odzkoušení, instalaci a nastavení použitých přístrojů byly provedeny další měření po čas „standardního“ provozu stejným principem, jak jsem již popsal v *kap. 5.3* a zároveň jsem dodržoval navržené algoritmy v *kap. 4.3*. Stahování dat do PC probíhalo vždy stejně jako v *kap. 5.4*, který vychází rovněž z algoritmů.

Pod pojmem „standardní“ mám na mysli, že zařízení zůstala v letadle, které nadále bylo používáno pro účely výcviku nebo pronájmu za účely rekreačního létání. Data jsem stahoval v případě potřeby za účelem diplomové práce v rámci kontroly zapisovaných dat piloty do palubního deníku. Případně jsem stahoval data na vyžádání instruktorů v souladu s druhotným účelem této DP a účastnil jsem se poletového rozboru při výcviku.

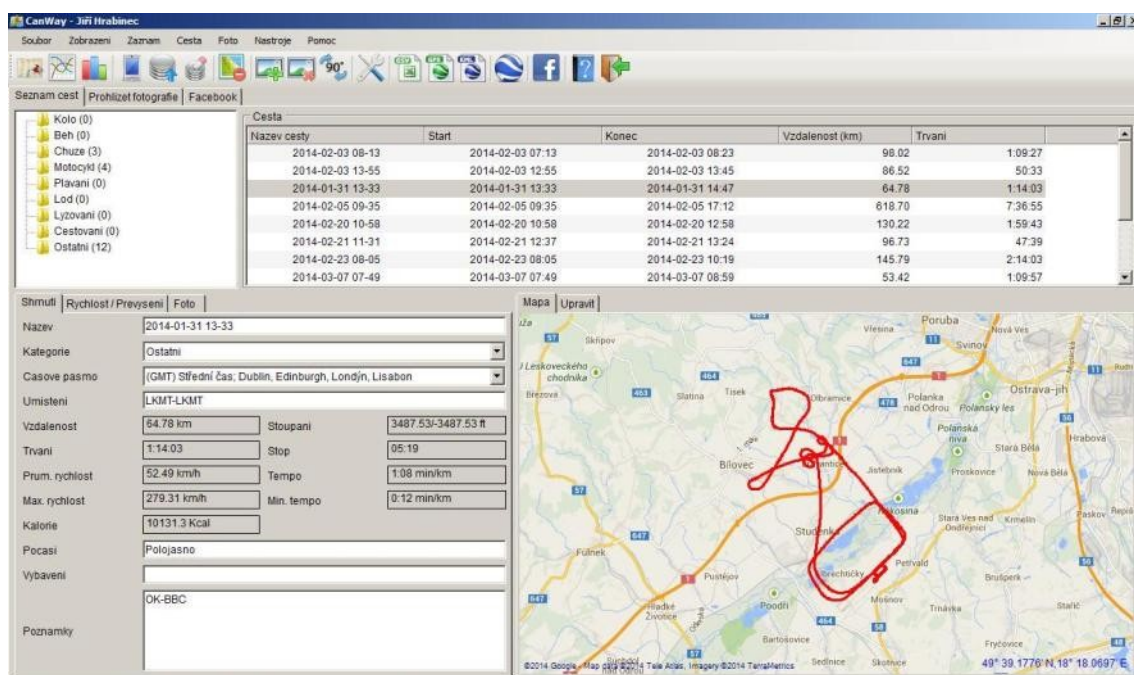
Dále navazuji popisem použitých programů a základních faktů ohledně zpracování reálně naměřených dat na PC, jejich vyhodnocení a způsoby použití pro výše zmíněné účely a lepší znázornění celé problematiky.

### **6.1 Používané počítačové programy a soubory**

Jak už bylo řečeno, ke stahování dat do PC se používá specifických programů dodávaných se zařízením nebo jsou volně stažitelné na stránkách výrobce. Některý SW může sloužit zároveň i k prohlížení stažených dat. V dalších podkapitolách krátce popíšu programy a jejich soubory, které jsem používal.

#### **6.1.1 Program CanWay**

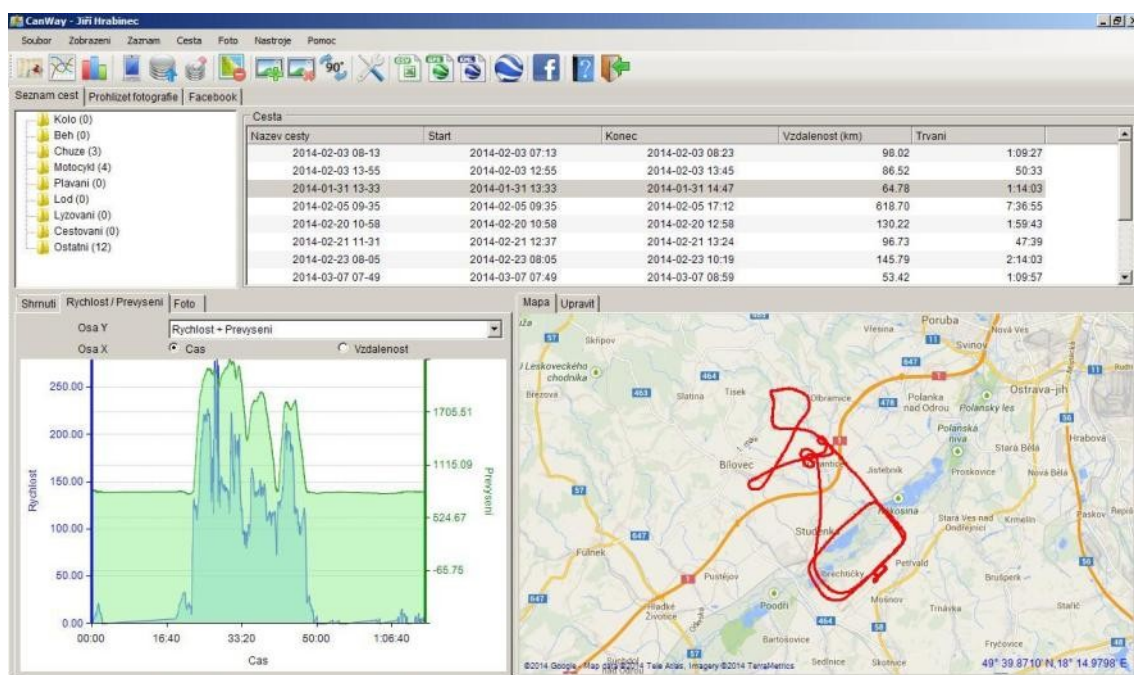
Program CanWay, na *Obr. 6.1*, spolupracující se zařízením GP102+ slouží ke stahování dat a zároveň k prohlížení, případně úpravě a sdílení na sociálních sítích. [23]



Obr. 6.1 Základní prostředí CanWay se zobrazením naměřených dat z trasy [23]

Základní prostředí tohoto programu se obecně dělí na několik částí, jak vidíme na Obr. 6.1. Na horní straně jsou dvě lišty s různými nástroji správy programu a dat. Pod nimi vlevo jsou základní složky programu se staženými daty z přístroje a napravo je seznam tras včetně základních časových údajů. V dolní části nalevo jsou tabulkově vypsané další podrobnosti vybrané trasy. V pravé polovině potom vykreslený 2D průběh trasy na mapových podkladech Google maps. [23]

Mimoходом v levé dolní polovině jsou kromě tabulkového výpisu i další karty s podrobnostmi o dané trase. Nejvíce mě vždy zajímala karta „Rychlost/Převýšení“, kde lze zobrazit průběhy rychlosti nebo výšky, případně obojí, v závislosti na čase, jak je zobrazeno na Obr. 6.2. Pomocí těchto grafických znázornění je možné snadno a rychle zjistit přesný čas startu a přistání, který slouží ke kontrole zapisovaných informací v Palubním deníku letadla. K tomuto programu je dostupný i manuál, a proto zde nebudu rozvádět podrobnosti o ovládání tohoto programu. [23]

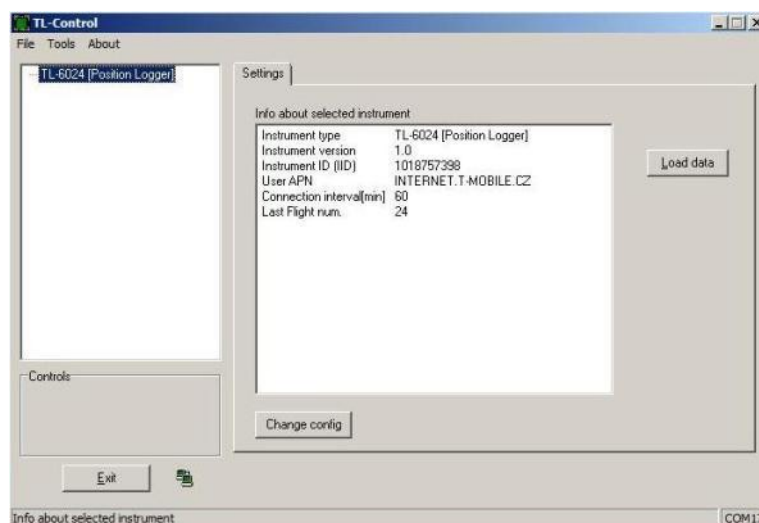


Obr. 6.2 Základní prostředí CanWay se zobrazením naměřených dat trasy (včetně grafického znázornění průběhu rychlosti a výšky v závislosti na čase) [23]

V tomto programu lze vybrané trasy exportovat do pěti různých typů souborů, které mají svá specifická zobrazení. Za zmínku určitě patří tři z nich – GPX, KML a KMZ. Rozdíly popisují v *kap. 6.1.3.* [23]

### 6.1.2 Program TL-Control

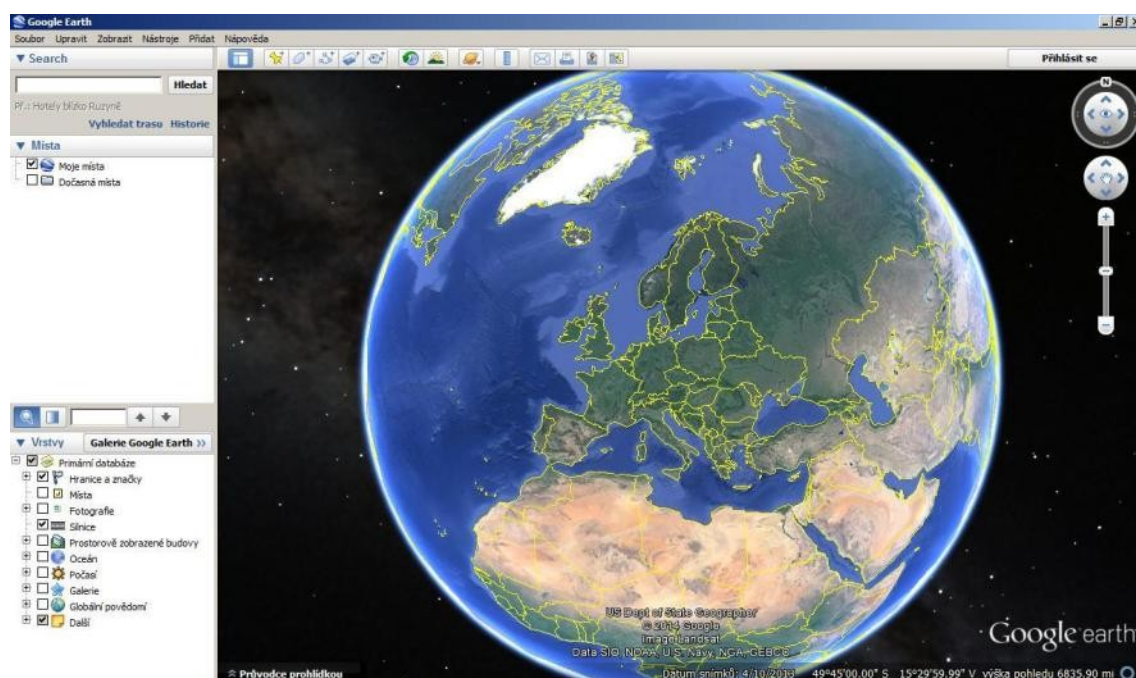
Tento program, zobrazen na *Obr. 6.3*, slouží pouze pro stahování dat ze zařízení TL-6024 do počítače přímo a pouze v souboru KML. [26]



Obr. 6.3 Základní prostředí TL-Control [25]

### 6.1.3 Program Google Earth

Jedná se o programové prostředí map globálního charakteru se souřadnicovým systémem, pomocí kterého lze zobrazit polohu kdekoli na světě nejen ve 2D, ale i 3D. Vlastníkem a autorem tohoto SW je společnost Google. Tento program má i svou webovou platformu (Google Maps) na stránkách Google. K zobrazení potřebných dat z tras naměřených pomocí GP102+ nebo TL-6024 používám spíše tento stažitelný SW. V tomto programu lze lépe pracovat s konkrétními daty, především jejich zobrazování ve 3D. Na Obr. 6.4 vidíme Google Earth prostředí. [27]



Obr. 6.4 Základní prostředí Google Earth [27]

Zmínil jsem tři formáty dat a všechny lze zobrazit v tomto programu. KML a KMZ jsou přímo podporované a zobrazitelné soubory, např. dvojitým kliknutím myši. Soubor GPX také podporuje Google Earth, ale k jeho zobrazení se využívá „nepřímého“ importu přes nabídku: *Nástroje* ► *GPS*. Zde zaznačíme možnost importu ze souboru a vyhledáme soubor GPX, který chceme zobrazit. [27]

Rozdíly mezi soubory jsou v jejich způsobu zobrazení, zobrazení informací a dalších funkcí. Obecně lze všechny zobrazit v základním 2D režimu. GPX lze jednoduše zobrazit i ve 3D. U KML a KMZ záleží na nastavení (naprogramování) firmwaru přístroje výrobcem, jakým způsobem má ukládat naměřená data (jestli s výškou nebo bez). Např.

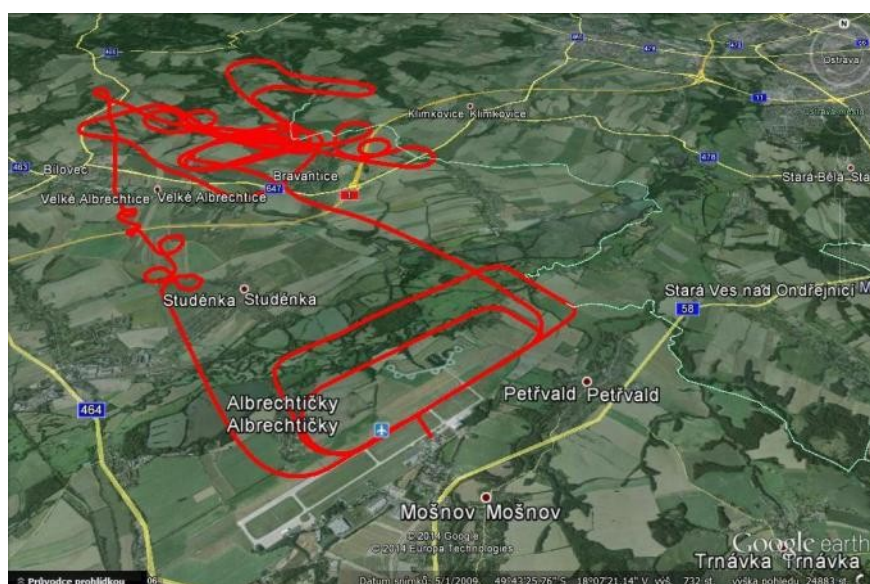


TL-6024 ukládá data v KML s výškovými informacemi a zobrazení je tedy ve 3D jako na Obr. 6.5. [26] [27]



Obr. 6.5 Příklad zobrazení trasy naměřené pomocí TL-6024 v KML formátu (bez dodatečných informací) [27]

GP102+ ukládá data, která lze exportovat do KML a KMZ ve 2D formátu nebo do GPX ve 2D/3D. Při importu GPX lze navíc nastavit využití podpůrných dat a zobrazení KML prvků s více podrobnými informacemi při kliknutí na určitý bod trasy. Příklady zobrazení soborů KML (Obr. 6.6), KMZ (Obr. 6.7) a GPX (Obr. 6.8). [23] [27]



Obr. 6.6 Příklad zobrazení trasy naměřené pomocí GP102+ v KML formátu [27]



Obr. 6.7 Příklad zobrazení trasy naměřené pomocí GP102+ v KMZ formátu [27]



Obr. 6.8 Příklad zobrazení trasy naměřené pomocí GP102+ v GPX formátu [27]

Další způsoby zobrazení, především doplňkových dat souborů KML, GPX a kombinace, jsem kvůli přehlednosti práce zařadil do příloh P-XI/1 až P-XI/6.

## 6.2 Vyhodnocení a využití naměřených dat

Na začátek této části je třeba obecně říct, že pro vyhodnocování naměřených dat a jejich další využití jsem používal pouze program CanWay a Google Earth. Ze souborů jsem využíval pouze KML (TL-6024) a GPX (GP102+) pro zobrazení v Google Earth.



Dále samostatně popíšu vyhodnocení a využití dat pro dva mnou předem zadané účely této práce, zmíněné i v *kap. 4.3*.

### 6.2.1 Kontrola údajů s Palubním deníkem letadla

Důvody k tomuto kroku jsem zmínil již v *kap. 4*. Jedná se mi o možnost kontroly zapisovaných dat do Palubního deníku. Tyto data jsou dále využívány především k plánování a řízení údržby. Proto je důležité mít nezávislý zdroj informací. To lze splnit pouze s využitím přesného přístroje jako je GPS tracker, který používám. Na *Obr. 6.9* je příklad zápisu z Palubního deníku letadla. Ten, který zde použiju jako příklad kontroly, je vyznačen červeným orámováním.

Datum Date (2)	Posádka (jméno, funkce) Crew (name, duty) (3), (4)	Místo / čas odletu Place / Time of DEP (5), (7)	Místo / čas přistání Place / Time of ARR (6), (8)	Doba letu Flight time (9a)	Počet vzletů Take-offs (9b)	Druh letu Nature of flight (10)
2.3. 2017	VAVROS	LKMT 14 <sup>00</sup>	LKMT 14 <sup>10</sup>	0 <sup>10</sup>	1	W
4.3. 2014	KONTROLA	LKMT 8 <sup>40</sup>	LKMT 8 <sup>55</sup>	15'	3	W
11.3. 2014	VAVROS P.	LKMT 07 <sup>05</sup>	LKLT 10 <sup>25</sup>	1 <sup>20</sup>	1	W
11.3. 2014	VAVROS P.	LKLT 15 <sup>05</sup>	LKMT 16 <sup>35</sup>	1 <sup>30</sup>	1	W

*Obr. 6.9* Příklad zápisu v Palubním deníku letadla (červeně vyznačené)

Tento vybraný řádek údajů chci zkontrolovat, zda odpovídá skutečnosti. Proto si stáhnu daný let a zobrazím odpovídajícím způsobem podle používaného zařízení. Jako první si najdu záznam z TL-6024 podle data a času počátku měření (tak je pojmenován každý soubor) a zobrazím si jej v Google Earth, jak můžeme vidět na *Obr. 6.10*. [27]



Obr. 6.10 Trasa letu včetně zobrazení doplňkové informace o vzletu [27]

Na tomto obrázku mám již zobrazenou doplňující informaci o **datu a času startu/vzletu**. Vidíme, že let byl zahájen **7. 3. 2014 v 8 hodin 36 minut a 25 sekund (UTC)**. Na dalším obrázku (Obr. 6.11) vidíme **konec/přistání** s datem **7. 3. 2014 v čase 8 hodin 59 minut a 14 sekund (UTC)**.



Obr. 6.11 Trasa letu včetně zobrazení doplňkové informace o přistání [27]

Rozdíl času (**doba letu**) mezi vzletem a přistáním je vyjádřeno za pomoci následujícího obecného vztahu:

$$Doba letu = \text{čas přistání} - \text{čas vzletu} \quad (6.1)$$

Po dosažení je konkrétní **doba letu**:

$$\text{Doba letu} = 8:59:14 - 8:36:25 = \mathbf{0:22:49} \quad (6.2)$$

**Místa vzletu a přistání** zjistíme jedině na základě projití trasy, případně ze zobrazení umístění doplňující informace „TAKE-OFF“ a „LANDING“. Z obrázků vidíme, že let byl uskutečněn **z LKMT do LKMT**.

Počet vzletů lze získat také pouze z prohlédnutí trasy a spočítáním, kolikrát provedl pilot „pevných“ vzletů a přistání nebo tzv. „touch and go“. Tedy celkový **počet vzletů** v rámci jedné trasy jsou **3**.

Když tyto potřebná data srovnáme se zápisem v Palubním deníku (*Obr. 6.9*), zjistíme, že pilot zapsal časové údaje podle svých nebo jiných nastavených hodin, které se mohou lišit od přesně stanoveného času z GPS. Také zapsané časy se mohou lišit tím, že pilot se podívá na hodiny dříve nebo později od skutečné doby vzletu/přistání. Případně zapisované údaje mohou být ovlivněny jinými faktory působící na lidského činitele, tedy pilota. **Doba letu v deníku se v konečném důsledku liší od přesně stanovené doby, a to o cca 7-8 minut.** Ostatní zapsané údaje jsou shodné.

Stanovení chybného zápisu a jejího opravení při nalezení nesrovnalostí v Palubním deníku bych nechal na provozovateli/majiteli letadla. Osobně bych navrhoval maximální toleranci nepřesahující 15 minut, do které by se dali zahrnout okolnosti související s provedením letu nebo rozdíly v časomíře. Proto rozdíl 7-8 minut v našem příkladu je pro mne akceptovatelná odchylka a zapsané údaje v Palubním deníku považuji za správné.

### **Druhý přístroj – GP102+**

Pokud použijeme druhý přístroj GP102+, data lze zjistit v programu CanWay, případně v Google Earth. Pouze se pracuje s jiným typem souboru, zde GPX.

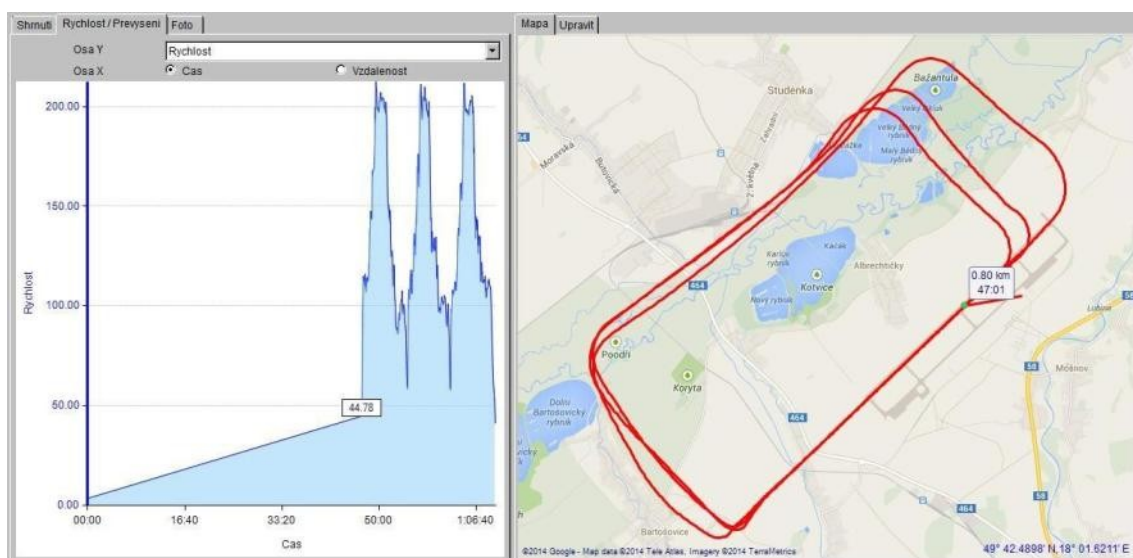
Nejdříve se podívejme na data v CanWay. Vybral jsem stejnou trasu jako u TL-6024 v seznamu tras, kterou vidíme na *Obr. 6.12*. **Datum letu je 7. 3. 2014.** Čas startu je 7 hodin 49 minut a čas konce je 8 hodin 59 minut (obojí v UTC). **Celková doba trvání** zapnutého režimu sporttracker (GPS) je **1 hodina 9 minut a 57 sekund**.

Cesta						
Nazev cesty	Start	Konec	Vzdalenost (km)	Trvání		
2014-02-03 08-13	2014-02-03 07:13	2014-02-03 08:23	98.02	1:09:27		
2014-02-03 13-55	2014-02-03 12:55	2014-02-03 13:45	86.52	50:33		
2014-01-31 13-33	2014-01-31 13:33	2014-01-31 14:47	64.78	1:14:03		
2014-02-05 09-35	2014-02-05 09:35	2014-02-05 17:12	618.70	7:36:55		
2014-02-20 10-58	2014-02-20 10:58	2014-02-20 12:58	130.22	1:59:43		
2014-02-21 11-31	2014-02-21 12:37	2014-02-21 13:24	96.73	47:39		
2014-02-23 08-05	2014-02-23 08:05	2014-02-23 10:19	145.79	2:14:03		
2014-03-07 07-49	2014-03-07 07:49	2014-03-07 08:59	53.42	1:09:57		
2014-03-07 09-31	2014-03-07 09:31	2014-03-07 13:13	106.93	3:41:46		
2014-03-14 09-04	2014-03-14 09:04	2014-03-14 14:40	312.34	5:35:40		
2014-03-20 07-13	2014-03-20 07:13	2014-03-20 11:17	284.94	4:04:26		
2014-03-27 09-45	2014-03-27 09:45	2014-03-27 14:57	289.65	5:11:41		

Obr. 6.12 Seznam tras v CanWay [23]

Z předchozího výpočtu víme, že na stejné trati se stejnou délkou a tím i dobou letu (0:22:49), nemůže být doba letu 1:09:57. Z toho vyplývá rozdíl mezi způsoby používání zařízení s jejich přednastavenými funkcemi. U GP102+ tedy musíme odečíst dobu, po kterou byl pohyb maximálně do  $40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ .

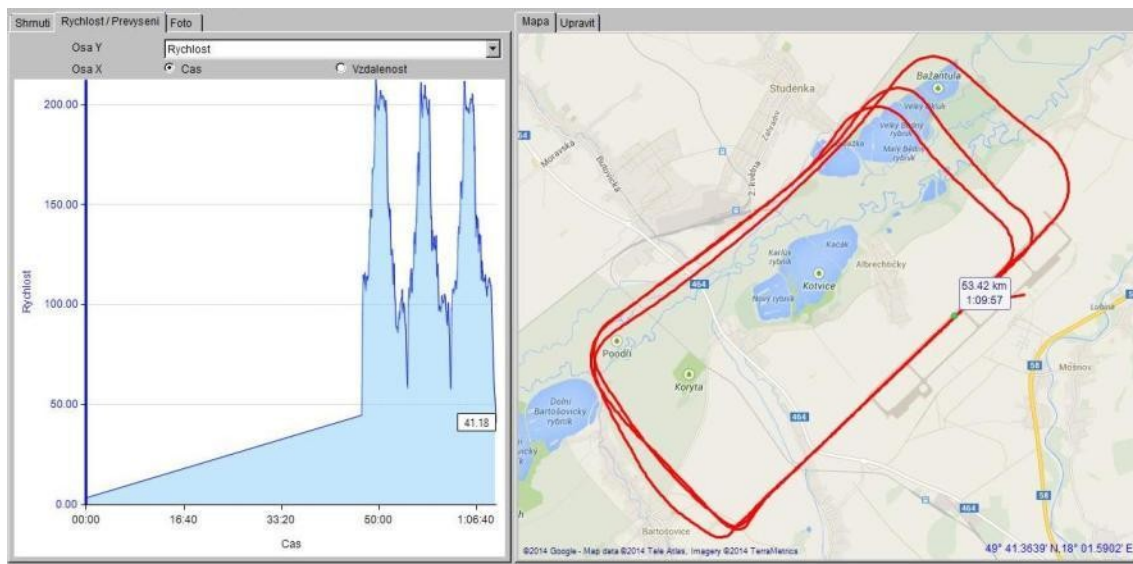
To zjistíme pomocí grafu rychlosti na čase z Obr. 6.13. Kurzor PC jsem nasměroval na bod grafu, kde prvně výrazně stoupá rychlost nad stanovenou. To je **časový okamžik skutečného vzletu** od zapnutí GPS (tedy 0:0:0), který je **0:47:01**.



Obr. 6.13 Zobrazení grafu (vlevo) a vybrané trasy (vpravo) v CanWay včetně označení okamžiku vzletu [23]

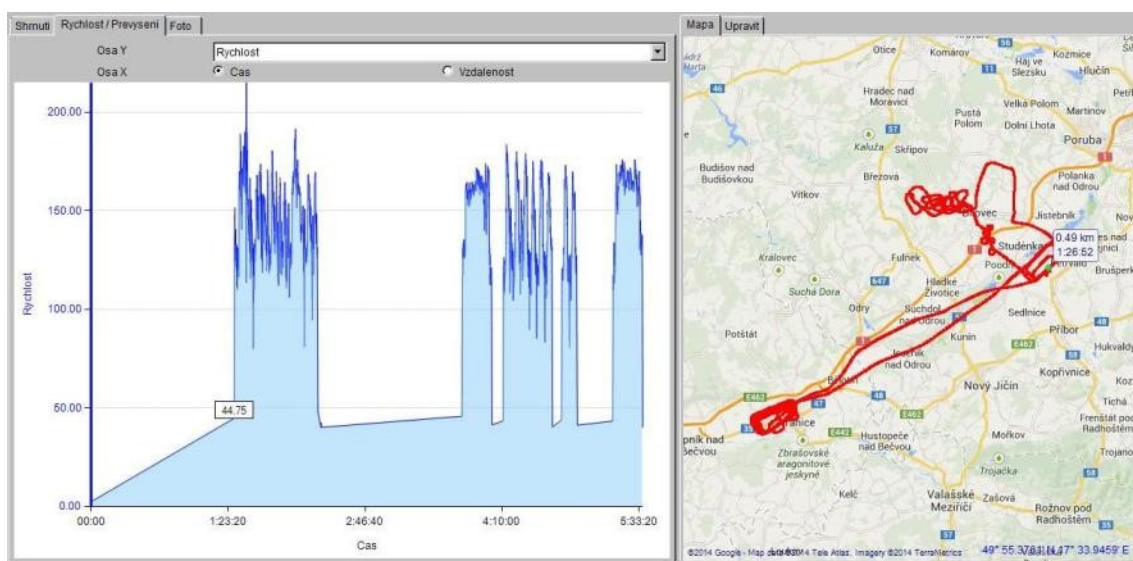
Stejným způsobem zjistíme **časový okamžik skutečného přistání** jako na Obr. 6.14. V tomto případě je to zároveň ukončení záznamu. Tento časový okamžik činí **1:09:57**.





Obr. 6.14 Zobrazení grafu (vlevo) a vybrané trasy (vpravo) v CanWay včetně označení okamžiku přistání [23]

Pokud bychom nevypnuli GPS režim a proběhl by další let např. za půl hodiny, v záznamu by se vytvořila mezera s vodorovnou spojnicí, podobně jako je na Obr. 6.15. Princip zjištění časových okamžiků dalšího letu zůstává stejný.



Obr. 6.15 Příklad zobrazení s větším počtem letů s pauzami [23]

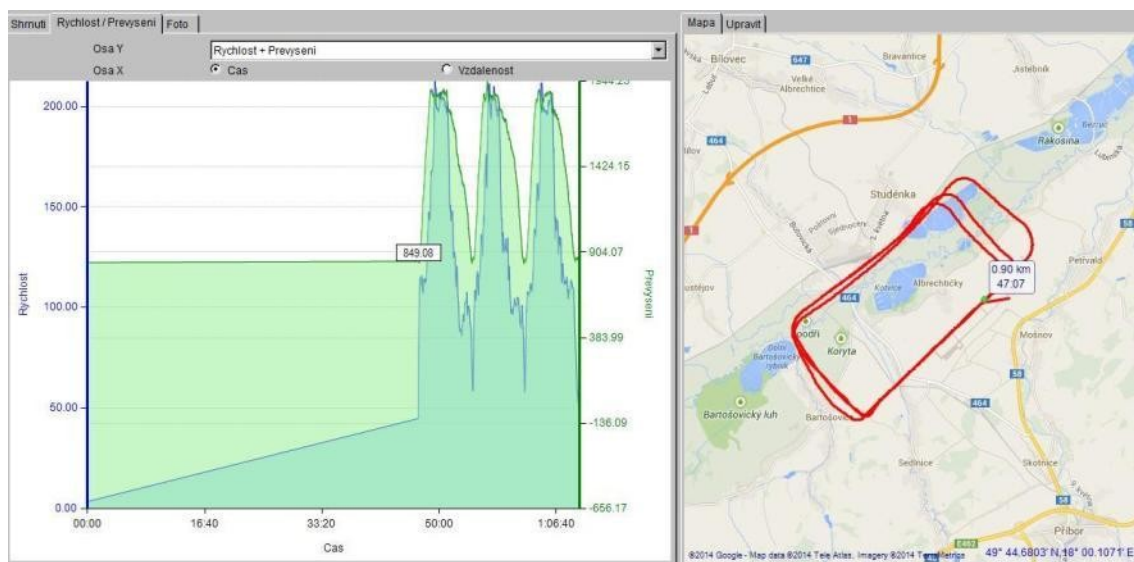
Tyto časové okamžiky odečteme použitím stejné rovnice jako je (6.1) a vyjde nám **doba letu**:

$$\text{Doba letu} = 1:09:57 - 0:47:01 = \mathbf{0:22:56} \quad (6.3)$$

Z důvodu rozdílné nastavené minimální rychlosti mezi GP102+ ( $40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ) a TL-6024 ( $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ), je i rozdíl doby letu. Je však minimální v rámci několika málo sekund, a proto tento výsledek můžeme považovat za správnou dobu letu.

Přibližný čas letu získáme přičtením 0:47:01 k času startu 7:49. **Čas vzletu je tedy 8:36:01.** Přibližný **čas přistání** získáme přičtením doby letu 0:22:56 k času vzletu a vyjde **8:58:57.**

Místa vzletu a přistání zjistíme stejným způsobem jako u dat z TL-6024, akorát s pomocí mapy v CanWay a současně grafu rychlosti+výšky na čase jako na *Obr. 6.16*. Tam, kde jsou rychlosti a zároveň výšky minimální, můžeme s jistotou stanovit **místo vzletu a přistání**, tedy z LKMT do LKMT. Počet intervalů mezi vzletem a přistáním odpovídá **počtu vzletů tj. 3.**



*Obr. 6.16 Příklad zobrazení letu a grafu se znázorněním počtu vzletů [23]*

Porovnáme zjištěná data s Palubním deníkem stejně jako v předchozím případě.

Kdybychom chtěli využít Google Earth, exportujeme danou trasu do GPX a následně importujeme do Google Earth se všemi doplňky KML. Uvidíme mnoho doplňkových dat na celé trase, které nyní nepotřebujeme. V postranním panelu otevřeme: složku Tracks ► *“složku s označením datumu a času”* ► složku Points. Tuto složku odškrtneme, v ní nalezneme a označíme bod, který odpovídá začátku vzletu. Na tento bod zvýrazněný na mapě klikneme a zobrazí se doplňková data, kde najdeme mimo jiné i datum (7.3.2014) a čas vzletu (8:36:39 UTC). Můžeme to vidět na *Obr. 6.17*. [23] [27]



*Obr. 6.17 Trasa letu včetně zobrazení doplňkové informace o vzletu [27]*

Opět analogicky zjistíme čas přistání z posledního označeného bodu, jako na *Obr. 6.18*. Tento čas je 8:59:35 UTC.



*Obr. 6.18 Trasa letu včetně zobrazení doplňkové informace o přistání [27]*

Rozdíl, místa vzletu a přistání a počet letů zjistíme stejně jako u přístroje TL-6024.

### **6.2.2 Poletový rozbor**

Součástí výcviku je i poletový rozbor, který provádí žák s instruktorem. Rozebírají různá fakta a pravidla létání na základě předpisu JAR-FCL 1, hlava C pro získání průkazu soukromého pilota PPL (A) a jiných dokumentů zabývajících se pravidly létání. Mnohokrát je těžké vzpomenout si nebo vybavit si správně probíranou situaci, především na straně žáka. [28]

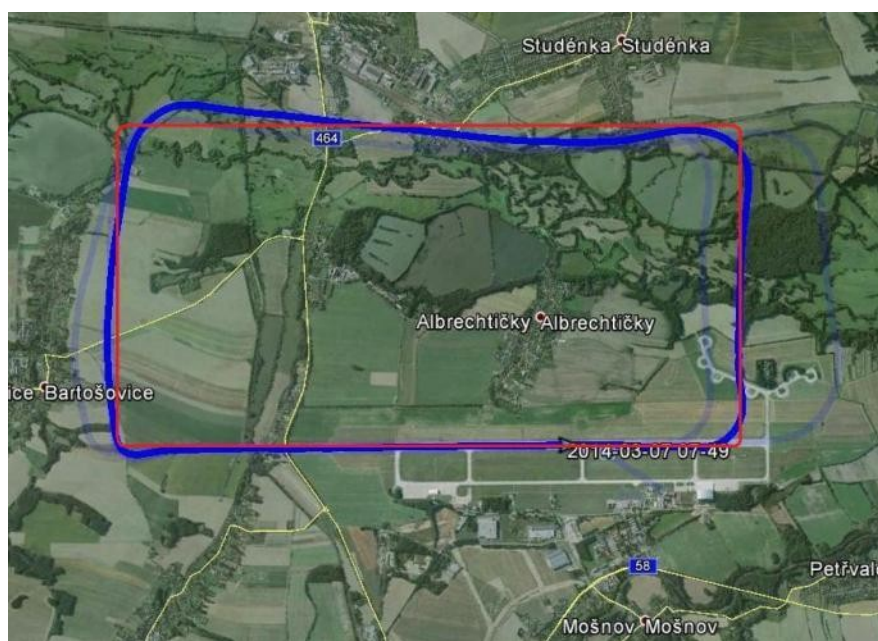


Z hlediska lepšího znázornění situací a vysvětlení správnosti provedení letu nebo manévru kdykoliv po letu, myslím, že by bylo dobré zavést využití dat z GPS trackeru. To je druhý důvod ke zpracování této diplomové práce.

Uvedu zde na dvou příkladech alespoň základní možnosti rozboru letu, od kterých se mohou odvíjet mnoho dalších možností. Patří sem především směr a výška. Bohužel jediné, co nelze brát v úvahu, je rychlost letu. Ta je z těchto zařízení braná jako „Ground speed“, neboli rychlost vztahovaná ke geoidu Země systému GPS.

### **První příklad – let po okruhu**

Standardní let po okruhu letiště by měl mít obecně tvar přibližně podobný obdélníku s oblými rohy v horizontální podobě zobrazení, který můžeme vidět na *Obr. 6.19*. Říkám „přibližně“, protože je těžké dosáhnout absolutního ideálu. Musíme zohlednit směr a velikost větru, který působí na letadlo ve vzduchu. Červenými čarami na obrázku jsem zvýraznil tvar obdélníka.



*Obr. 6.19* Příklad okruhu (modře) ve srovnání s ideálním tvarem (červeně) [27]

Protože okruh na *Obr. 6.19* jsou velmi podobné referenčnímu tvaru, považuji je za ideální pro další srovnání s letem jednoho z žáků na *Obr. 6.20*.



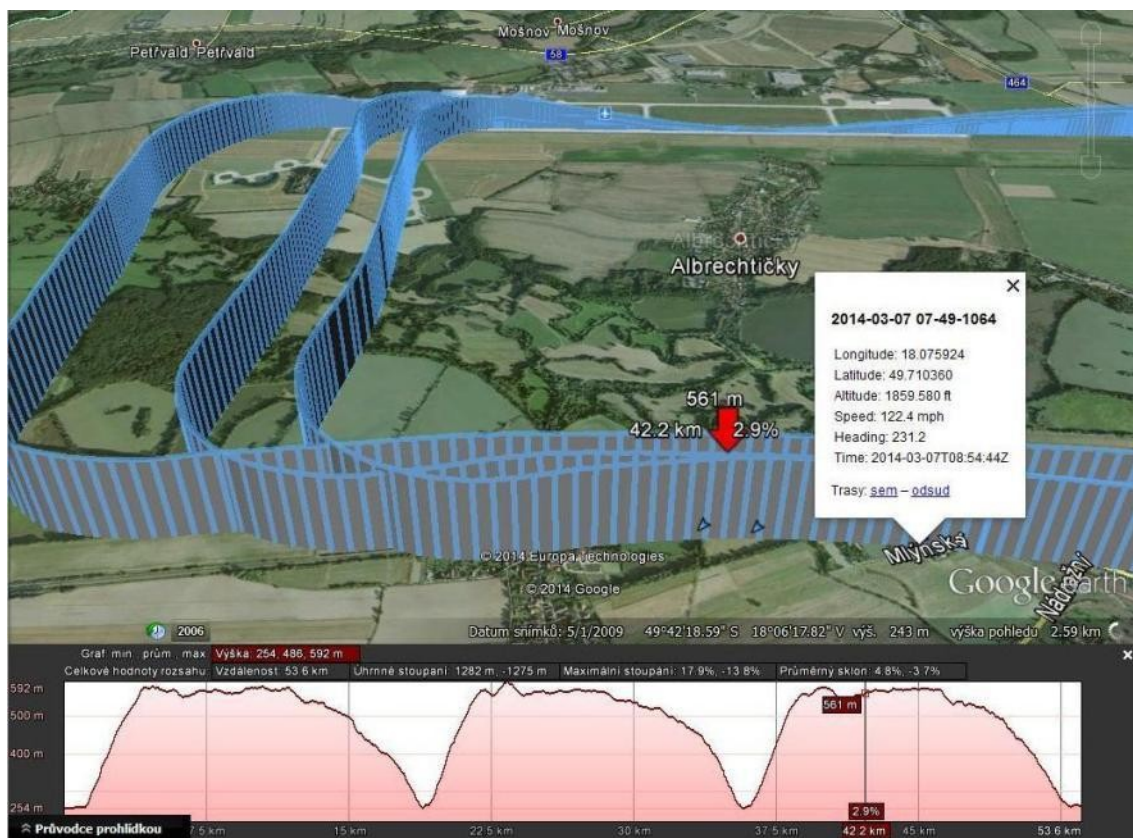


*Obr. 6.20 Příklad okruhů žáka (modře) ve srovnání s ideálním okruhem (červeně) [27]*

Z obrázku je patrné, že žák pravděpodobně ztrácel orientaci v průběhu letu po vzletu (mezi první a druhou zatáčkou) a před přistáním (mezi třetí a čtvrtou), kdy nedodržel směr kolmý na osu dráhy a vznikl lichoběžníkový tvar.

Pokud by letěl v okruzích sám jako jedno letadlo, pak odchýlení od standardního okruhu by příliš nevadilo. Problém by mohl nastat při zvýšené hustotě provozu, kdy vychýlení od stanovené trasy by mohlo způsobit určitá nedorozumění a v extrémním případě i incidenty.

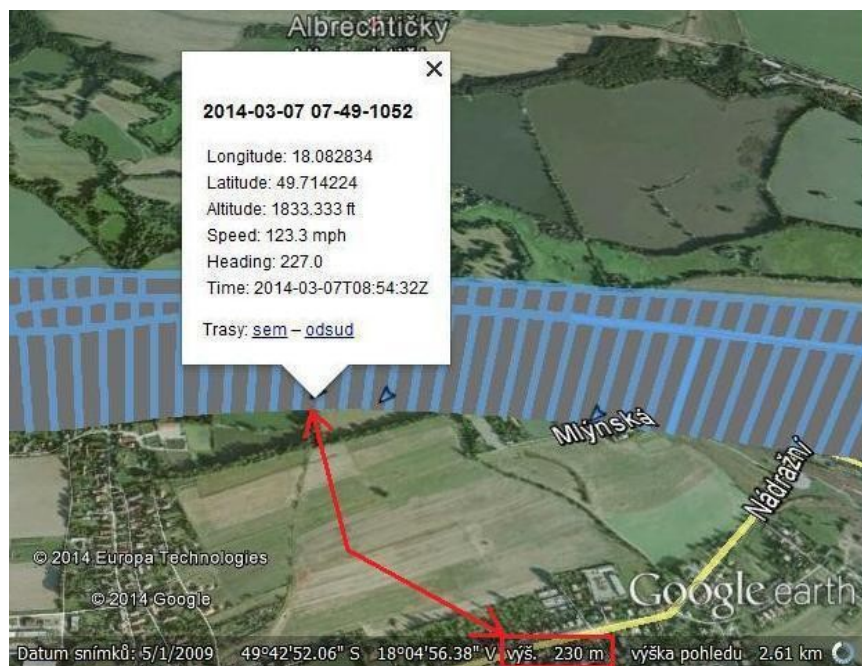
Podobně to platí i pro výšku letu mezi druhou a třetí zatáčkou, která by měla být přibližně 560 m (1840 ft) - vztažená k hladině moře (absolutní) jako na *Obr. 6.21*.



Obr. 6.21 Příklad zobrazení výšky (absolutní) – dva způsoby (graf, doplňkový bod) [27]

Pokud bychom chtěli znát výšku vztaženou vůči povrchu (relativní), musíme provést analýzu průběhu výšky letu (absolutní) v určitém rozmezí a vybrat průměrnou hodnotu. To lze pomocí doplňkových dat přes bodové značky nebo pomocí grafu výškového profilu. Na Obr. 6.21 je zobrazení obou možností. Vybraná výška je tedy 561 m.

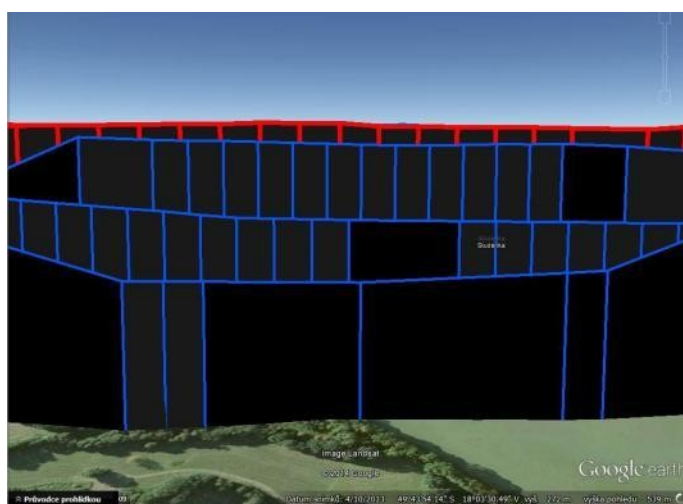
Dále v programu Google Earth je vypočítána, změřena a stanovena nadmořská výška povrchu na každém bodě Země. Na tomto základě je také vytvořen model terénu. To můžeme zjistit pohybem kurzoru myši po mapě a udávaná výška konkrétního bodu je zobrazena v dolní části prostředí Google Earth. Z Obr. 6.22 máme zjištěnou výšku stejného bodu jako je bod trasy, který měříme. Ta je 230 m. [27]



Obr. 6.22 Příklad zjištění nadmořské výšky terénu ve sledovaném bodě [27]

Rozdíl absolutní výšky letu a výšky povrchu Země je naše požadovaná výška relativní, která činí 331 m (1100 ft).

Na Obr. 6.23 máme porovnání výšek letu okruhu žáka (modře) s ideálním okruhem (červeně). Vidíme, že modely tras se od sebe výškově liší. Je patrné, že výška je někdy hluboko pod ideální výškou.



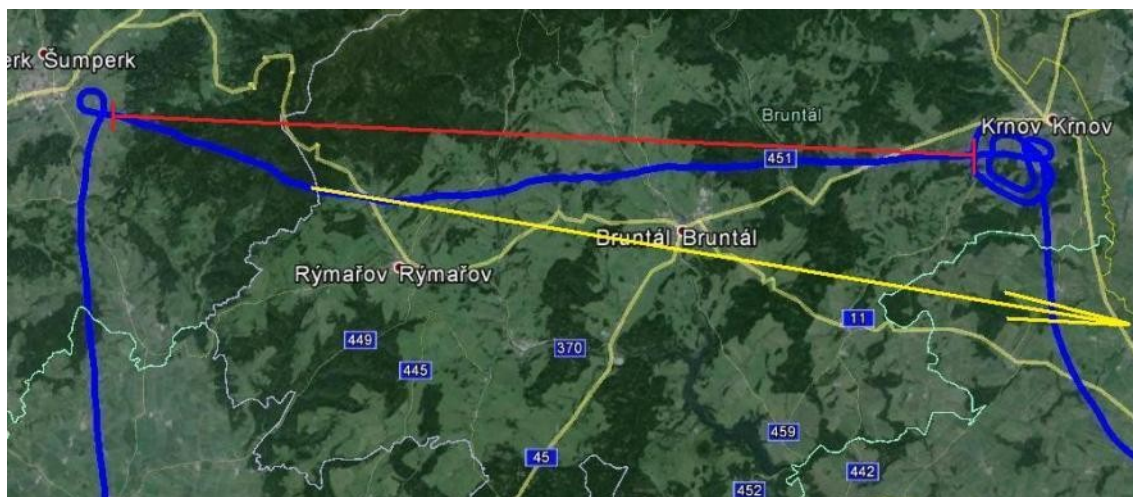
Obr. 6.23 Příklad porovnání absolutních výšek modelů letu žáka a ideálního letu [27]



## Druhý příklad – navigační let

Hlavní způsoby využití dat byly popsány podrobně v předchozím příkladě. Tyto principy lze aplikovat na navigačních letech obecně mezi body A a B. Na tomto úseku se provádí rozbor směru, případně výšky, především z hlediska jejich udržování. Navigační lety jsou často ovlivňovány mnoha faktory z okolí (např. výška terénu, počasí, vítr, okolní provoz apod.). Zdejší popis by byl tedy na další dlouhé stránky.

Proto na *Obr. 6.24* pouze naznačím alespoň teoretické dodržení stanovené trati, která měla být dodržena při letu mezi Šumperkem a Krnovem. Na odchýlení od přibližně vyznačené trati vidíme, že žák ztratil orientaci v prostoru, a kdyby instruktor nezasahoval do řízení a pokračovali ve směru letu, minuli by zmíněný Krnov.



*Obr. 6.24 Příklad navigačního letu mezi dvěma body (Šumperk-Krnov) a znázornění chyby žáka; popis čar je uveden v odstavci pod titulkem [27]*

Přibližná trať je na obrázku červeně, skutečná trasa modře a možné pokračování letu bez úpravy směru je žlutou s šipkou na konci.

## **7 Závěrečná srovnání použitých zařízení**

Nyní pár slov k srovnání použitých přístrojů, jejich parametrů, funkcí, ekonomických hledisek a osobních zkušeností. Pro přehledné srovnání hlavních výhod a nevýhod uvádím *Tab. 7.1*.

Parametry	+/-	GP102+	+/-	TL-6024
<b>Rozměry:</b>	+	- menší - umístění kamkoli	-	- větší - horší možnosti umístění
<b>Instalace:</b>	+	- jednoduchá	-	- náročnější, nutné úpravy
<b>Přesnost měření:</b>	+	- přesnější i při umístění s nepřímým výhledem	-	- méně přesný - externí anténa citlivá na umístění
<b>Funkce:</b>	+	- více použitelných funkcí	-	- pouze základní funkce
<b>Možnost nastavení:</b>	+	- lze nastavit mnoha parametrů	-	- nelze nastavovat
<b>Zobrazení dat v Google Earth:</b>	-	- nutné úpravy pro zobrazení 3D modelu	+	- automatické vykreslení modelu
<b>Množství dat:</b>	+	- více zobrazitelných dat	-	- méně informací
Parametry	+/-	GP102+	+/-	TL-6024
<b>Způsob zapnutí/vypnutí:</b>	-	- náročnější a složitější	+	- jednodušší
<b>Záložní zdroj:</b>	+	- je instalován	-	- není instalován
<b>Pořizovací cena:</b>	+	- nižší (cca 1500 Kč)	-	- vyšší (cca 9000 Kč) - nutné dokoupení příslušenství (cca 3000 Kč)

Tab. 7.1 Porovnání výhod a nevýhod obou použitých zařízení

Porovnání přesností s maximálními odchylkami mezi jednotlivými zařízeními jsem umístil do přílohy P-XII/1. Z vlastních zkušeností a zkušebních měření mohu prohlásit, že přesnější je GP102+, a proto TL-6024 se může lišit přibližně o 20 m v horizontálním i vertikálním porovnání.

U TL-6024 někdy dochází k určitým a nechtěným výpadkům signálu z GPS. Podle mého soudu to velmi závisí na umístění externí antény a jejím výhledu na oblohu a aktuálním příjmu počtu družic. Na tom i nadále pracuji, ale úplné doladění vyžaduje delší časový horizont zkoušení různého umístění antény.

Z hlediska exportu dat ze zařízení do PC vidím výhodu u GP102+, kde lze při exportování vybrat konkrétní trasu nebo i více tras dle libosti. To nelze u TL-6024 a je dobré ukládat data do jedné a stále stejné složky, protože při exportování program

automaticky porovná uložená data v PC (složce) a v přístroji a exportuje pouze ty, které ve složce nejsou.

Dalším faktorem je zaplnění kapacity paměti přístroje, kde u TL-6024 je výhodné automatické přemazávání dat po naplnění kapacity a nemusí se ručně hlídat tento stav. Zároveň to může být nevýhodou pro dohledání dřívějších dat, které jsme nestáhli a mezi tím se smazali v paměti přístroje. Analogicky opačný efekt má přístroj GP102+, kde se nepřemazává data po naplnění kapacity paměti a musí se hlídat stav, ale na druhou stranu se musí pravidelně kontrolovat a případně mazat ručně. Potom záleží na rozhodnutí dotyčné osoby, zda data stáhnout a zálohovat nebo ne.

Zbývá ještě říci, že TL-6024 je napájen ihned po zapnutí „Master switch“ a ukončení napájení s vypnutím tohoto vypínače. To je obecně výhodou pro nahrávání uskutečnění letu a je jedno, kdy k tomu dojde nebo jak velká přestávka je mezi jednotlivými lety. GP102+ je v tomto ohledu v nevýhodě přesto, že je možno přístroj napájet přes USB kabel a adaptér ze zásuvky. Problém je v tom, že jakmile by pilot udělal z určitého důvodu přestávku mezi lety delší jak 17 hodin (po dobu výdrže nabitě baterie), GP102+ se automaticky nezapne a nenahraje další let. Co se týká baterie jako „záložní“ zdroj, je u tohoto přístroje na druhou stranu výhodou při výpadku napájení.

Celkově se mně osobně pracovalo a pracuje s danými přístroji velmi dobře a pro stanovené účely naprosto vyhovují. Doposud jsem získal jen kladné ohlasy a hodnocení při používání 3D modelů a všech informací k provedení poletového rozboru při výcviku žáků. Jedná se především o problematiku zpětného vybavení a znázornění chyb a situací provedeného letu, které dokáže 3D model celkem rychle a přesně zobrazit.

Ze všech výše zmíněných výhod, nevýhod a osobních zkušeností mohu doporučit zařízení TL-6024 ke všem stanoveným účelům této práce a hlavně pro dlouhodobé používání. V případě potřeby pro krátkodobé doplnění přesnějších informací, především při výcviku, doporučuji použití GP102+.

Konkrétní stanovení postupů a způsobů použití přístrojů bych raději přenechal na majiteli/provozovateli letadel. Popis a rozbor všech detailů o používání přístrojů a dat by bylo na další a dlouhé povídání.

## 8 Závěr

Věřím, že jsem naplnil zadání práce ve všech bodech a splnil základní požadavky kladené na vypracování. Mojí snahou bylo přiblížit dané téma firmám, majitelům a provozovatelům letadel, které provozují především letecké školy a nejen to a chtějí mít svůj letový park lépe pod kontrolou a tím i celkové náklady spojené s létáním. Dalším aspektem bylo mít nezávislý zdroj základních dat pro kontrolu zápisů do Palubních deníků letadel, což je důležité pro řízení limitovaných dílů. Nakonec i využití těchto dat při výcviku pilotů a tím zvýšit efektivitu výuky. To vše při využití moderních technologií dnes běžně dostupných, s nízkou pořizovací cenou a provozními náklady.

Při zhodnocení všech výše zmíněných faktorů a problematik popsaných v kapitolách práce včetně některých podrobností si dovoluji konstatovat, že jsem úspěšně a zcela splnil svá očekávání. Dozvěděl jsem se mnoho nových informací, využil a naučil se novým funkcím programu Google Earth a měl možnost své teoretické znalosti a předpoklady převést do praktických zkoušek a měření.

Budu určitě rád, když moje osobní zkušenosti a přínos informací v této práci poslouží kladně pro budoucí inspiraci i v jiných problematikách spojené s využitím systému GPS pro sledování pohybu létajících objektů.

### *Poděkování*

*Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce panu Ing. Františkovi Martincovi, CSc. za dohled a kontrolu této práce. Také bych chtěl poděkovat společnosti LET'S FLY s.r.o. za financování a umožnění letů nezbytné pro vyzkoušení přístroje a splnění praktické části této práce.*

## 9 Zhodnocení cílů

V úvodních částech jsem popsal stručným způsobem hlavní principy družicových navigačních systémů a způsoby určování polohy pro připomenutí a snadnější pochopení konkrétní problematiky rozebrané v dalších kapitolách.

Z hlediska úvodního bodu zadání své práce jsem navázal stručnou analýzou trhu nabízených sledovacích zařízení a systémů využívané pro různé účely ve vybraných odvětvích. Na základě provedené analýzy jsem uskutečnil výběr zařízení pro své účely a vybrané přístroje jsem krátce popsal z hlediska jejich parametrů, funkcí a dalších základních informací.

Navázal jsem návrhem algoritimů ve formě vývojových diagramů pro každé z vybraných a použitých zařízení. Nejdříve jsem stanovil obecný popis celkového principu řešení problematiky pro pochopení po sobě jdoucích procesů. Na to jsem přizpůsobil jeden konkrétní a podrobnější diagram pro každý ze dvou vybraných přístrojů a jejich konkrétní způsoby používání.

Dále jsem popsal potřebné úpravy pro instalaci a instalaci jako takovou z důvodu následného odzkoušení a úspěšného zprovoznění. Přidal jsem krátký popis ohledně stahování a ukládání naměřených dat ze zařízení do počítače. Pokračoval jsem stručným popisem použitých programů a souborů pro následující vyhodnocování dat. Podle stanovených dvou účelů práce jsem provedl rozbor základních informací s praktickými ukázkami a výpočty.

Závěrem jsem porovnal a zhodnotil oba použité přístroje z různých hledisek, které považuji za důležité pro budoucí provoz a účely použití.



## Seznam použité literatury

- [1]. **SLAVÍK, S. a kolektiv.** *Studijní modul 13 - Aerodynamika, konstrukce a systémy letadel*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2005. ISBN 80-7204-395-1.
- [2]. **VOLNER, R.** *Digitální technologie - elektronické přístrojové systémy*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1640-1.
- [3]. **RAPANT, P.** Institut geoinformatiky. [Online] 2002. [Citace: 1. březen 2014.] [http://gis.vsb.cz/vojtek/content/gnps/files/\\_source/RAP02.pdf](http://gis.vsb.cz/vojtek/content/gnps/files/_source/RAP02.pdf). ISBN 80-248-0124-8.
- [4]. **LÁSKA, Z. a kolektiv.** Centrum pro rozvoj výzkumu pokročilých řídicích a senzorických technologií. [Online] 9. září 2010. [Citace: 1. březen 2014.] [http://www.crr.vutbr.cz/system/files/brozura\\_08\\_1009.pdf](http://www.crr.vutbr.cz/system/files/brozura_08_1009.pdf).
- [5]. **MATTOS, Philip.** transputer.net. *Global positioning by satellite - INMOS Technical Note 65*. [Online] červenec 1989. [Citace: 6. březen 2014.] <http://www.transputer.net/tn/65/tn65.html>. 72-TCH-065-00.
- [6]. **ORMELING, Ferjan a McCARTHY, Nicoline.** UNGEGN-ICA webcourse on Toponymy. [Online] International Cartographic Association, červenec 2012. [Citace: 6. březen 2014.] [http://lazarus.elte.hu/cet/modules/toponymy-2012/\\_HtmlModules/\\_Selfstudy/S06/S06\\_05a.html](http://lazarus.elte.hu/cet/modules/toponymy-2012/_HtmlModules/_Selfstudy/S06/S06_05a.html).
- [7]. **Garmin Czech s.r.o.** Garmin.cz. [Online] Garmin Czech s.r.o., 2014. [Citace: 10. březen 2014.] <http://www.garmin.cz/>.
- [8]. **Holux Technology.** Holux. [Online] Holux Technology, Inc., 2014. [Citace: 14. březen 2014.] <http://www.holux.com/JCore/en/home/index.jsp>.
- [9]. **Zhyichina.** Zhyichina.com. [Online] 2012. [Citace: 14. březen 2014.] <http://www.zhyichina.com/en/GPSTracking/GPSTrackerManual.pdf>.
- [10]. **Auto GPS.** Auto GPS. [Online] webdesign by Dana, 2011. [Citace: 14. březen 2014.] <http://www.auto-gps.eu/hardware/gl200/>.
- [11]. **KOČÍ, M.** APP svět aplikací. [Online] Empresa media, a.s., 2012. [Citace: 14. březen 2014.] <http://svetaplikaci.tyden.cz/ted-se-v-indii-neztratite-sygic-prichazi-s-bezplatnou-offline-navigaci-sygic-india-gps-navigation/>.
- [12]. **PRWeb.** PRWeb. [Online] Vocus PRW Holdings, LLC., 24. červen 2010. [Citace: 14. březen 2014.] [http://www.prweb.com/releases/sports-tracker/heart\\_rate/prweb4180784.htm](http://www.prweb.com/releases/sports-tracker/heart_rate/prweb4180784.htm).

- [13]. **Teltonika**. Teltonika. [Online] Teltonika, 2014. [Citace: 15. březen 2014.] <http://www.teltonika.lt/en/pages/view/?id=10>.
- [14]. **Torola design**. Torola design. [Online] Torola design s.r.o., 2013. [Citace: 15. březen 2014.] <http://www.torola.cz/prenos-dat-z-taxametr>.
- [15]. **Hale, spol. s.r.o.** Hale electronic. [Online] webdesign econtrol.cz, 2012. [Citace: 15. březen 2014.] <http://www.hale.cz/pes.html>.
- [16]. **ERA a.s.** ERA. [Online] 2014. [Citace: 14. březen 2014.] <http://era.aero/products/squid-by-era/>.
- [17]. **Airteam**. Aeroweb. [Online] Aeroweb, Airteam, 2013. [Citace: 16. březen 2014.] <http://shop.aeroweb.cz/gps-navigace>.
- [18]. **AERO**. Boeing.com. [Online] 11. březen 2003. [Citace: 12. březen 2014.] [http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero\\_21/gnss.pdf](http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_21/gnss.pdf).
- [19]. **Flightradar24**. Flightradar24. [Online] Basarsoft, GeoBasis, Google, 2014. [Citace: 16. březen 2014.] <http://www.flightradar24.com/>.
- [20]. **FID avionics**. FID avionics. [Online] Joomla!, 2014. [Citace: 13. březen 2014.] [http://fid-avionics.eu/public\\_fid/index.php?option=com\\_content&view=article&id=55&Itemid=64](http://fid-avionics.eu/public_fid/index.php?option=com_content&view=article&id=55&Itemid=64).
- [21]. **EW Avionics**. EW Avionics. [Online] 2014. [Citace: 13. březen 2014.] <http://www.ewuk.co.uk/>.
- [22]. **IMI Gliding Equipment**. IMI Gliding Equipment. [Online] Joomla!, 2014. [Citace: 13. březen 2014.] [http://www.imi-gliding.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=55%3Aqerixxq-flight-recorder&catid=32&Itemid=100017&lang=cs](http://www.imi-gliding.com/index.php?option=com_content&view=article&id=55%3Aqerixxq-flight-recorder&catid=32&Itemid=100017&lang=cs).
- [23]. **Canmore Electronic Co. Ltd.** Canmore. [Online] SAYHO, 2014. [Citace: 24. březen 2014.] [http://www.canmore.com.tw/productshow.php?selectub=&product\\_number=97&secondkidnumber=19&secondkidname=Outdoor%20GPS&mainkidnumber=18&mainkidname=](http://www.canmore.com.tw/productshow.php?selectub=&product_number=97&secondkidnumber=19&secondkidname=Outdoor%20GPS&mainkidnumber=18&mainkidname=).
- [24]. **Canmore**. Canmore Electronics. [Online] 2014. [Citace: 20. březen 2014.] [http://file.canmore.com.tw/download/GP-102+%20user%20manual\\_English.pdf](http://file.canmore.com.tw/download/GP-102+%20user%20manual_English.pdf).
- [25]. **TL elektronik**. TL elektronik. [Online] TL elektronik Inc., 2014. [Citace: 22. březen 2014.] [http://www2.tl-elektronik.cz/index.php?page=lsa&p\\_id=18](http://www2.tl-elektronik.cz/index.php?page=lsa&p_id=18).

- [26]. —. TL elektronik. [Online] 2007. [Citace: 22. březen 2014.] [http://www2.tl-elektronik.cz/instruments/manuals/TL-6024\\_um\\_revB.pdf](http://www2.tl-elektronik.cz/instruments/manuals/TL-6024_um_revB.pdf).
- [27]. **Google.** Google Earth. [Online] 2014. [Citace: 4. duben 2014.] <http://www.google.cz/intl/cs/earth/>.
- [28]. **JAA.** JAR FCL-1. [Online] 1. prosinec 2006. [Citace: 20. duben 2014.] [http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/Jar/JAR-FCL\\_1/index.htm](http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/Jar/JAR-FCL_1/index.htm).

## Seznam příloh

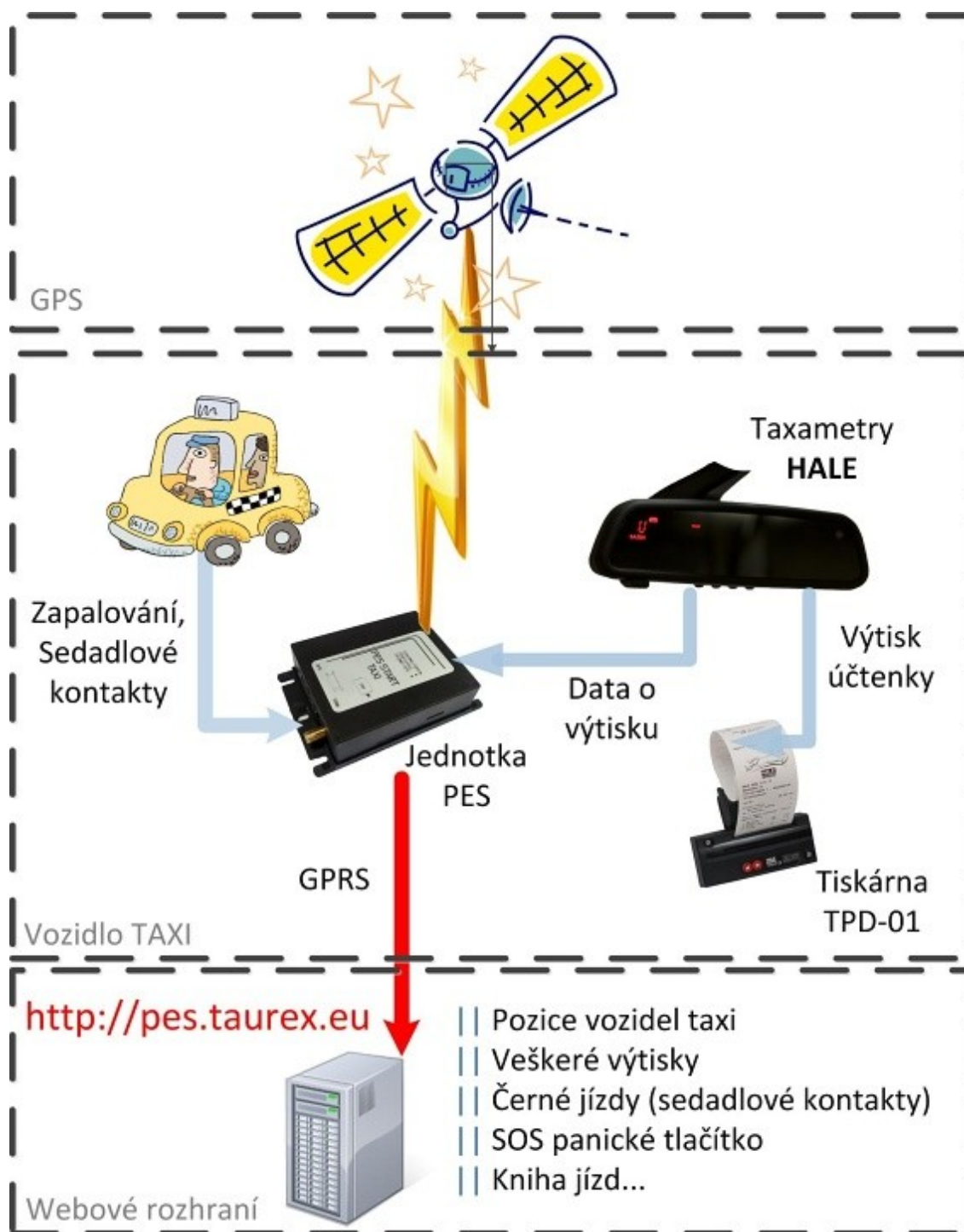
<b>Příloha I.</b> Příklad automobilového sledovacího zařízení s příslušenstvím	<b>P-I/1</b>
<b>Příloha II.</b> Příklad sledovacího systému pro taxi službu	<b>P-II/1</b>
<b>Příloha III.</b> Schéma a části systému používaný ve stavebních strojích	<b>P-III/1</b>
<b>Příloha IV.</b> Schéma, části systému a plány pro řízení směru zemědělských strojů	<b>P-IV/1</b>
<b>Příloha V.</b> Příklad internetové aplikace pro mobilní mapovací systém	<b>P-V/1</b>
<b>Příloha VI.</b> Příklad internetového zobrazení Flightradar24	<b>P-VI/1</b>
<b>Příloha VII.</b> Vývojový diagram k přístroji TL-6024	<b>P-VII/1</b>
	<b>P-VII/2</b>
	<b>P-VII/3</b>
	<b>P-VII/4</b>
	<b>P-VII/5</b>
<b>Příloha VIII.</b> Vývojový diagram k přístroji GP102+	<b>P-VIII/1</b>
	<b>P-VIII/2</b>
	<b>P-VIII/3</b>
	<b>P-VIII/4</b>
	<b>P-VIII/5</b>
	<b>P-VIII/6</b>
<b>Příloha IX.</b> Schéma a tabulka zapojení kabeláže k TL-6024	<b>P-IX/1</b>
<b>Příloha X.</b> Příklady instalace sledovacího zařízení v letadlech	<b>P-X/1</b>
	<b>P-X/2</b>
<b>Příloha XI.</b> Další možnosti zobrazení dat v prostředí Google Earth	<b>P-XI/1</b>
	<b>P-XI/2</b>
	<b>P-XI/3</b>
	<b>P-XI/4</b>
	<b>P-XI/5</b>
	<b>P-XI/6</b>
<b>Příloha XII.</b> Srovnání přesností sledovacích zařízení	<b>P-XII/1</b>

**P-I      Příklad automobilového sledovacího zařízení s příslušenstvím**

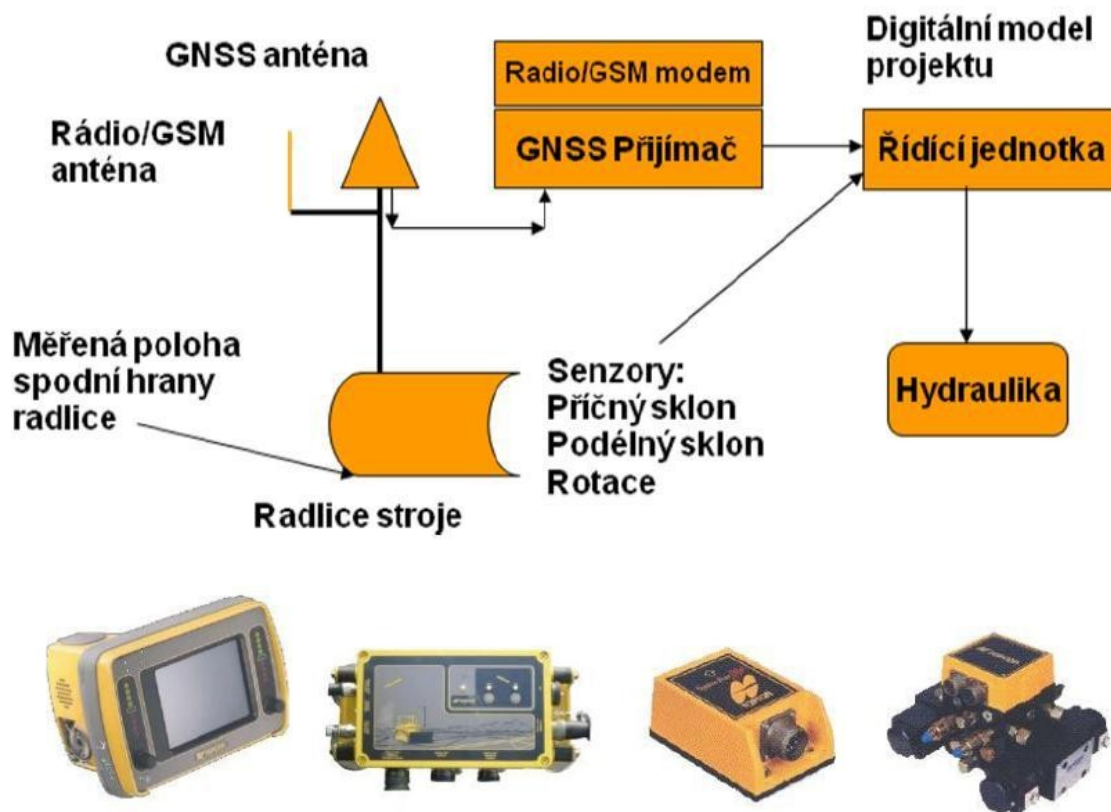


*P-I/1      Sledovací zařízení TK-106 a příslušenství (videokamera, G senzor, GPS anténa, GPRS/GSM anténa, mikrofon, teplotní senzor, senzor množství paliva)*  
*[9]*

## P-II Příklad sledovacího systému pro taxi službu

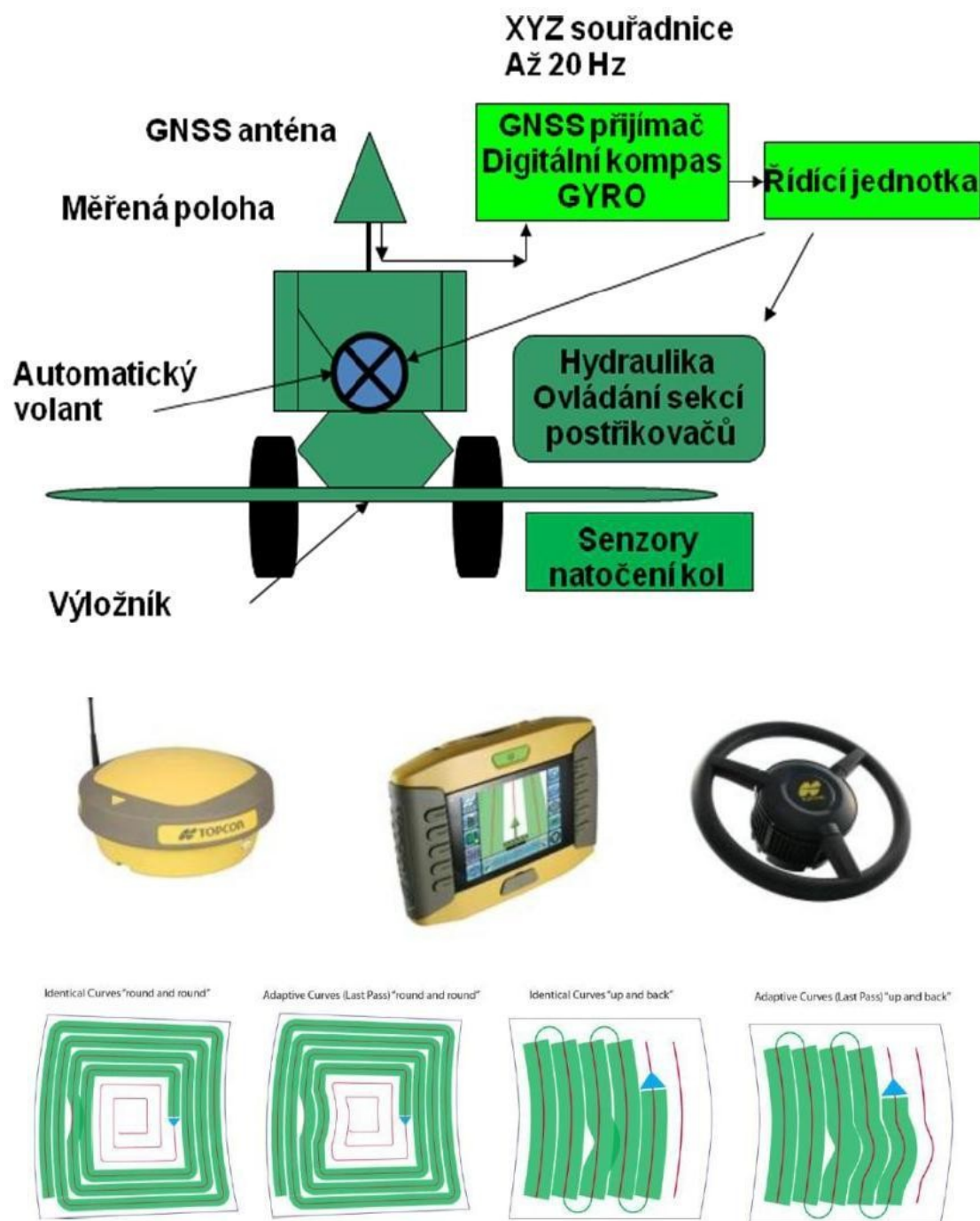


**P-III Schéma a části systému používaný ve stavebních strojích**



*P-III/1 Schéma systému stavebního stroje na úpravu povrchu; Hlavní části systému používaný ve stavebních strojích (zleva: řídicí jednotka, rover box, senzor příčného sklonu a senzor podélného sklonu) [4]*

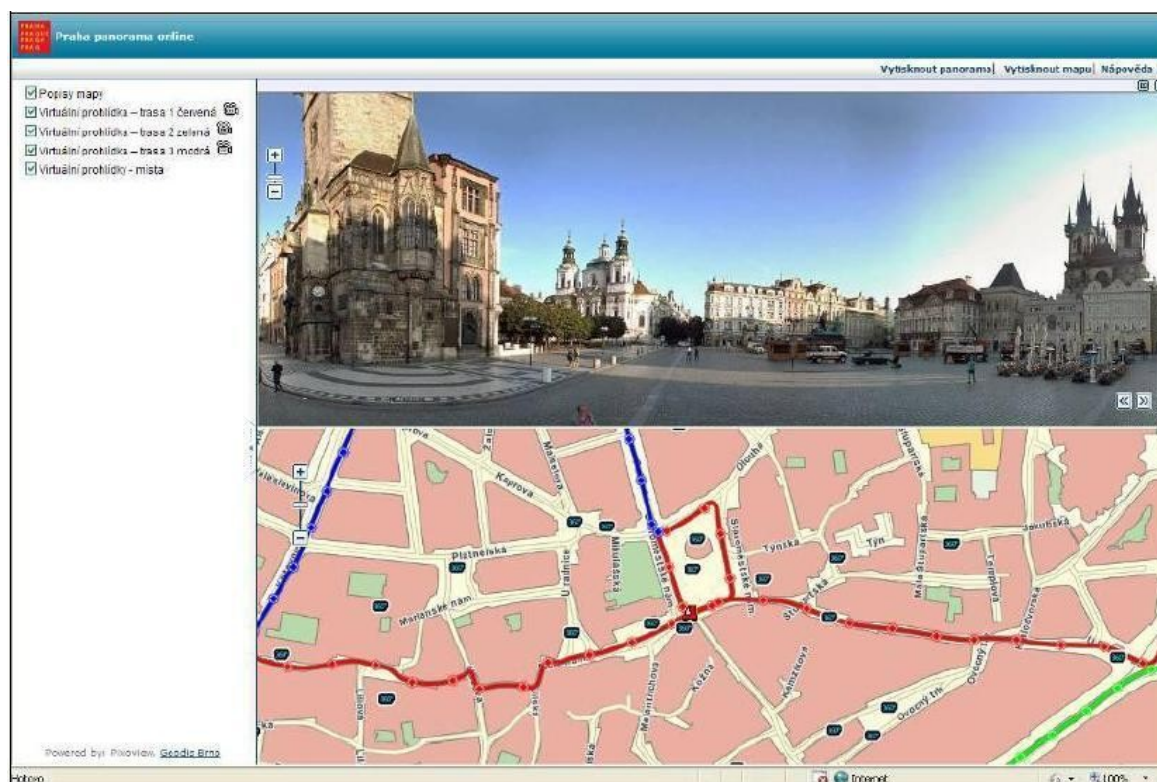
**P-IV Schéma, části systému a plány pro řízení směru zemědělských strojů**



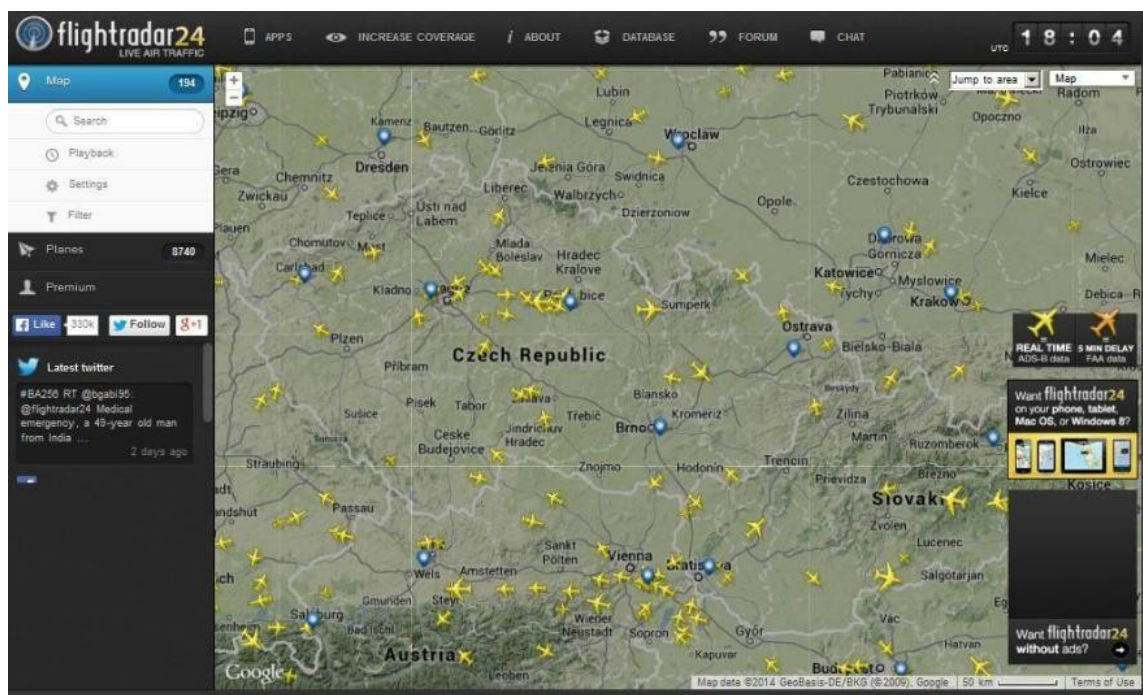
*P-IV/1 Schéma systému pro řízení postřikovače; Hlavní části systému (zleva: GNSS přijímač, řídicí konzole, automatický volant) a příklady plánů pro řízení směru stroje (zleva: stejný kruhový, adaptivní kruhový, stejný řádkový a adaptivní řádkový plán) [4]*



## P-V      Příklad internetové aplikace pro mobilní mapovací systém

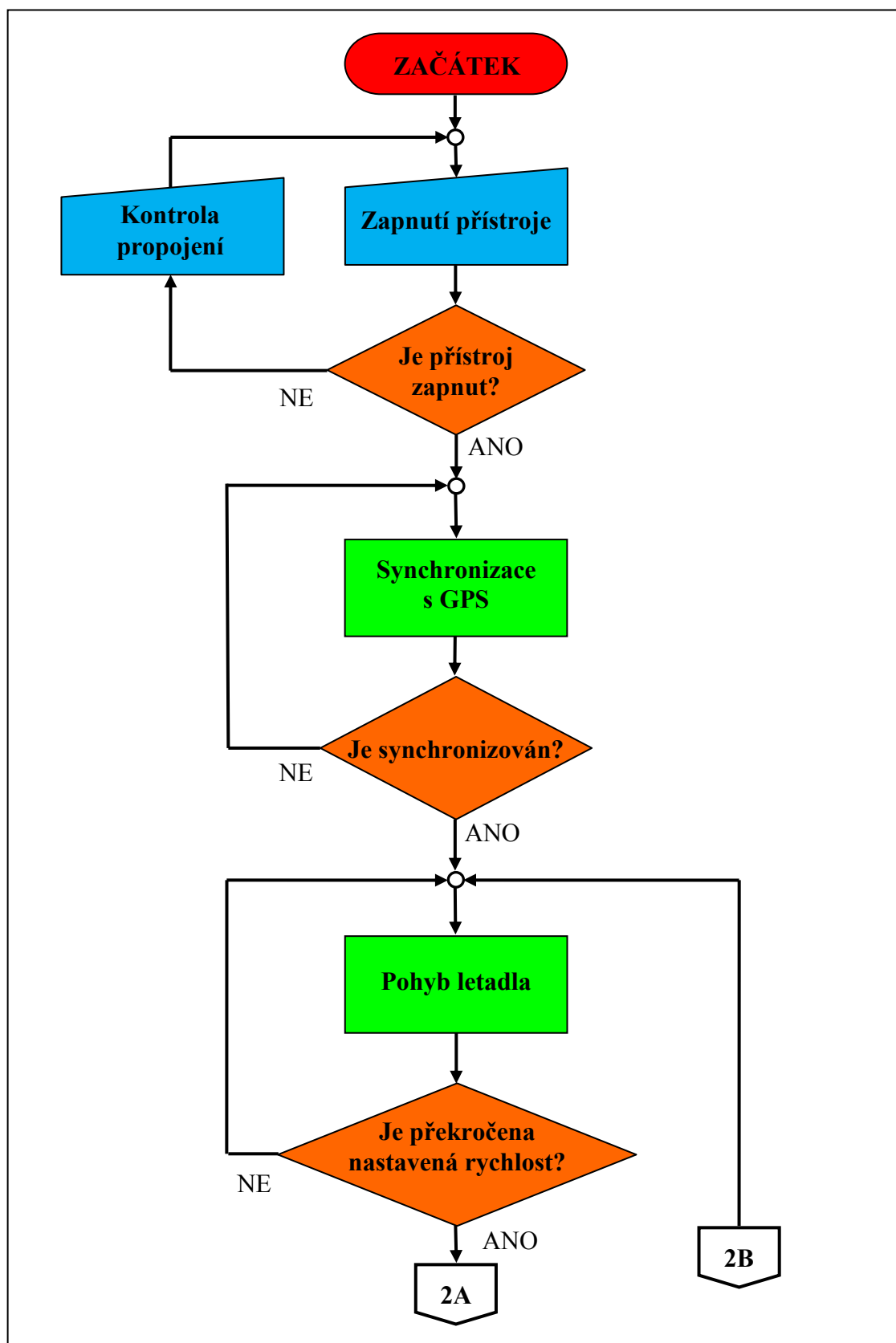


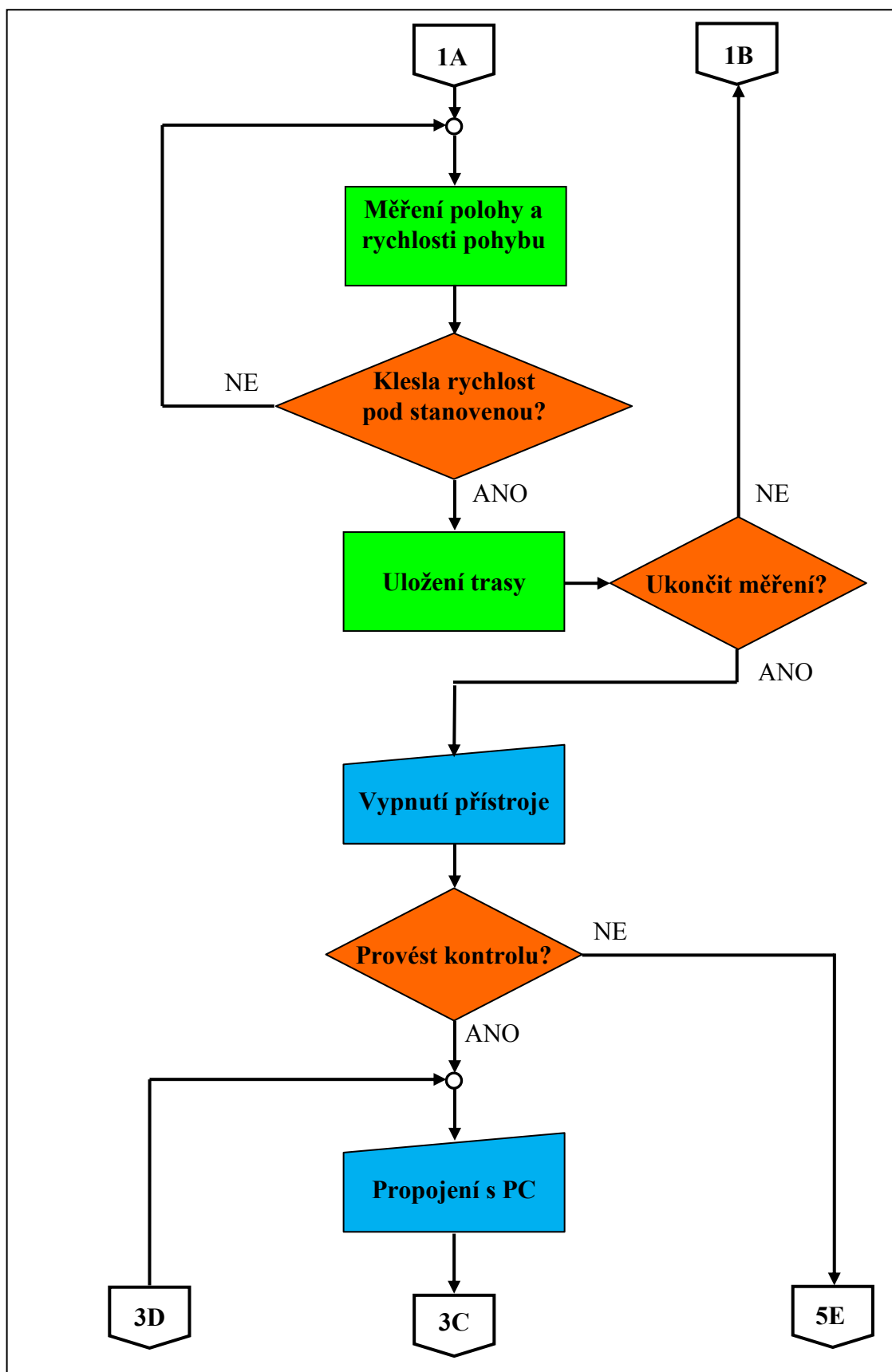
## P-VI Příklad internetového zobrazení Flightradar24

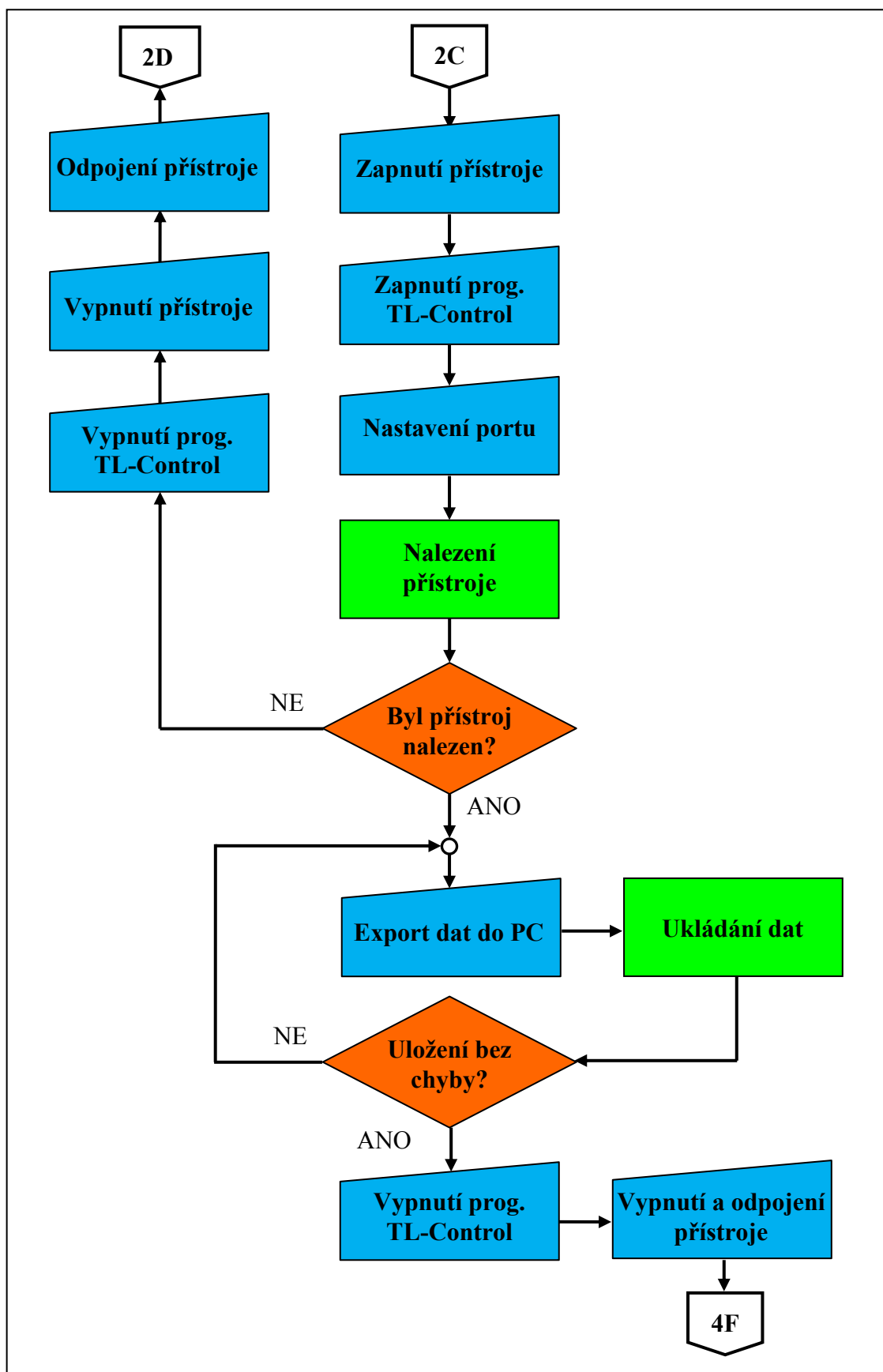


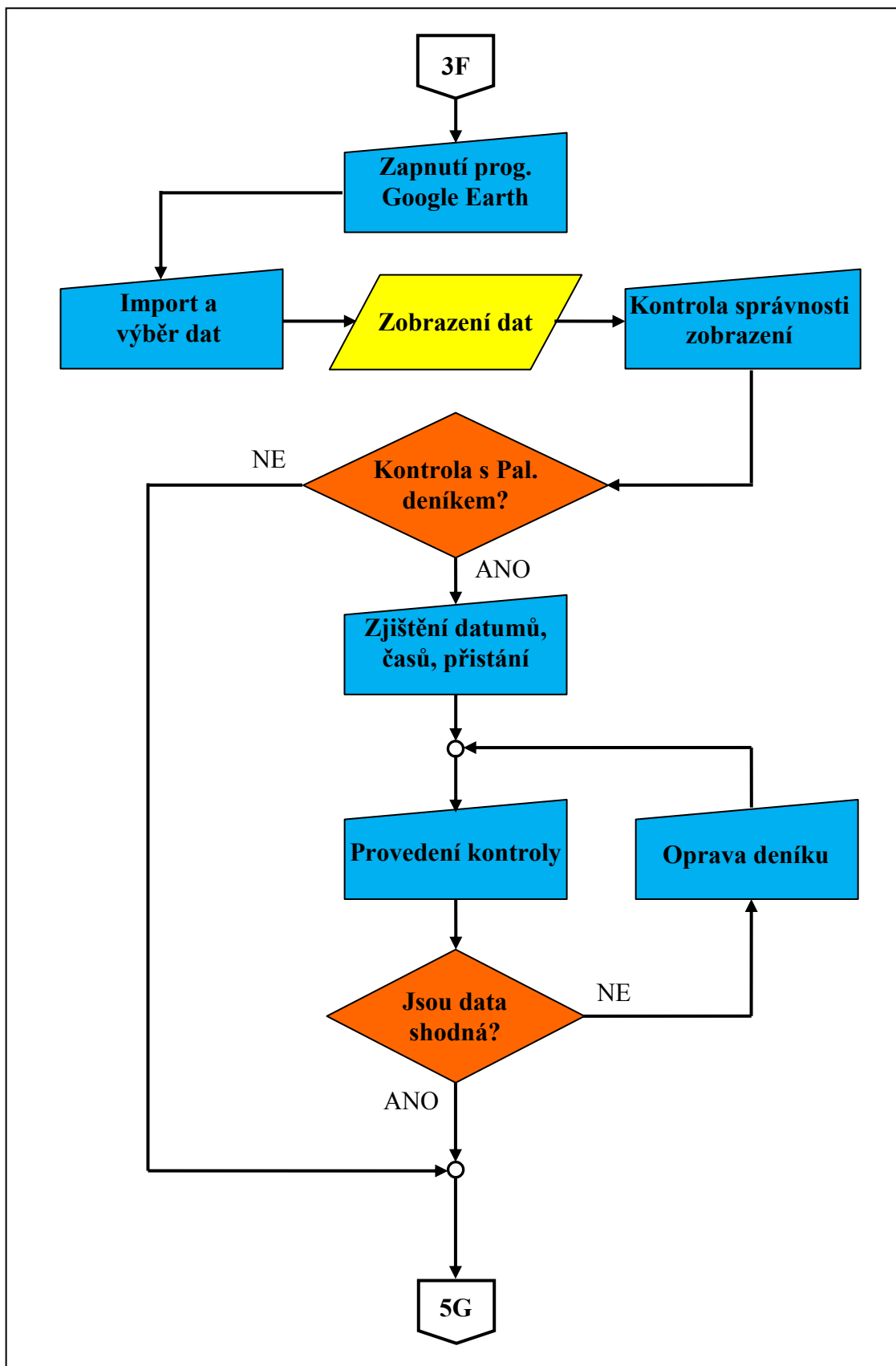
P-VI/1 Příklad internetového zobrazení polohy letadel nad ČR [19]

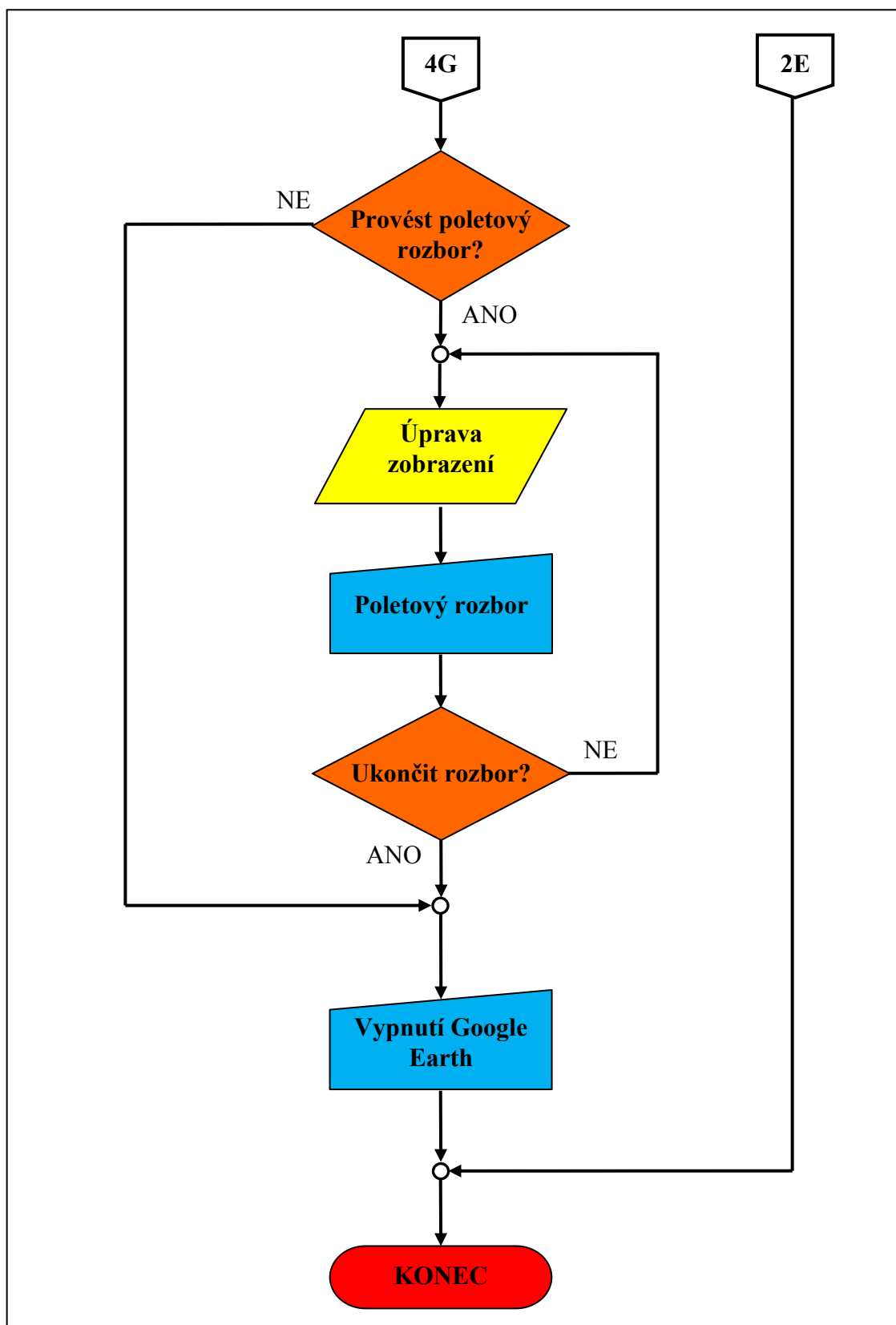
P-VII Vývojový diagram k přístroji TL-6024





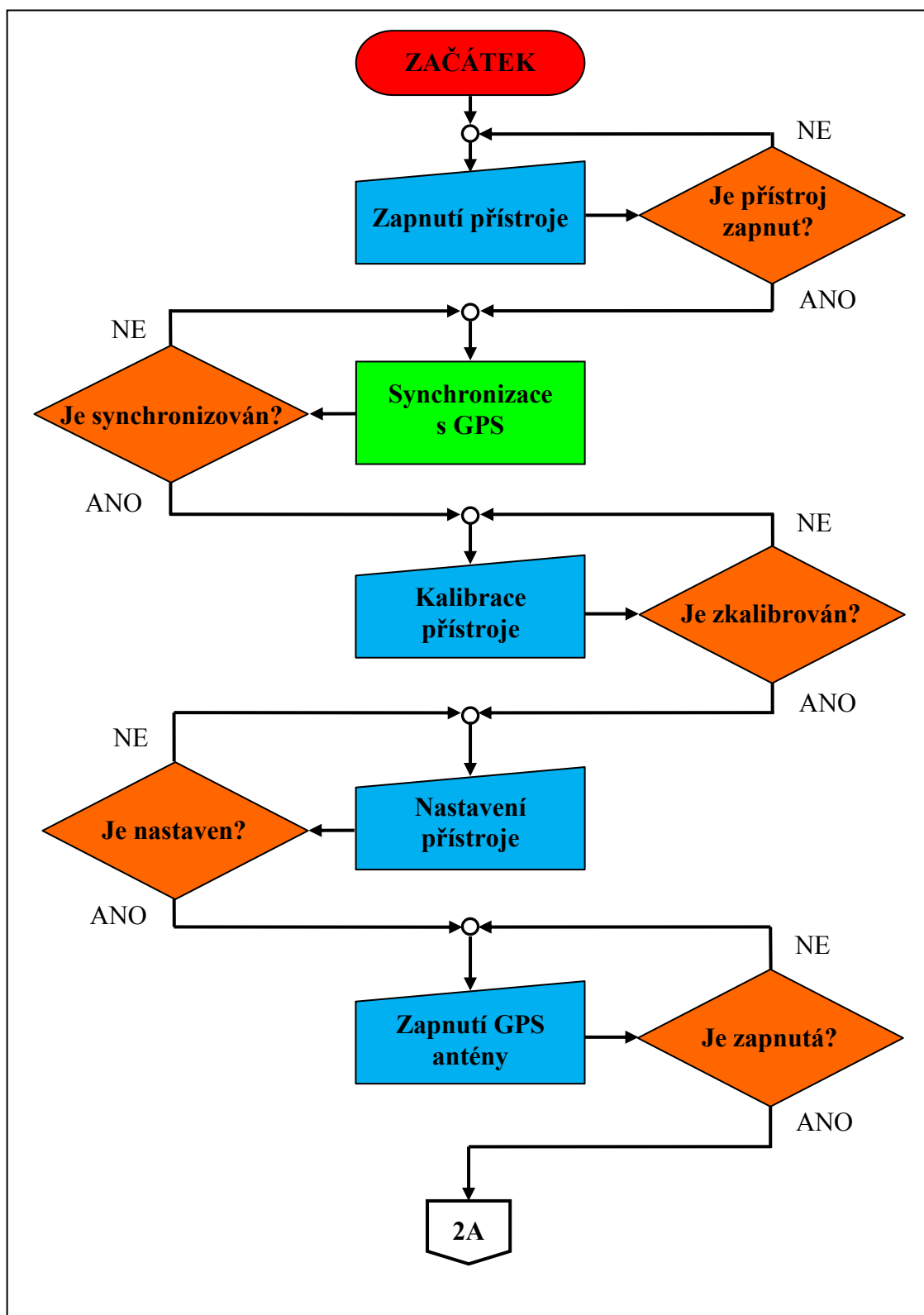


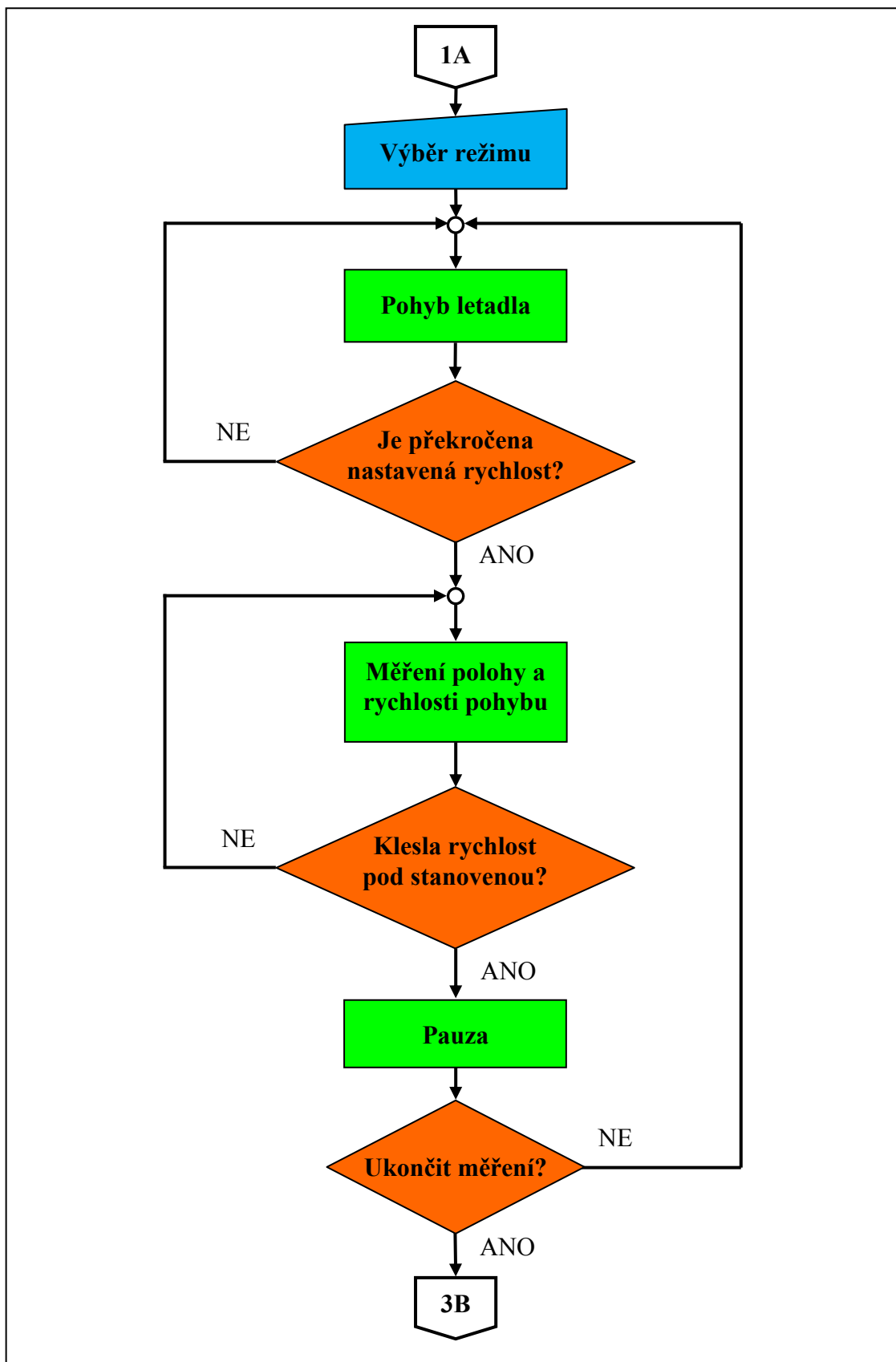


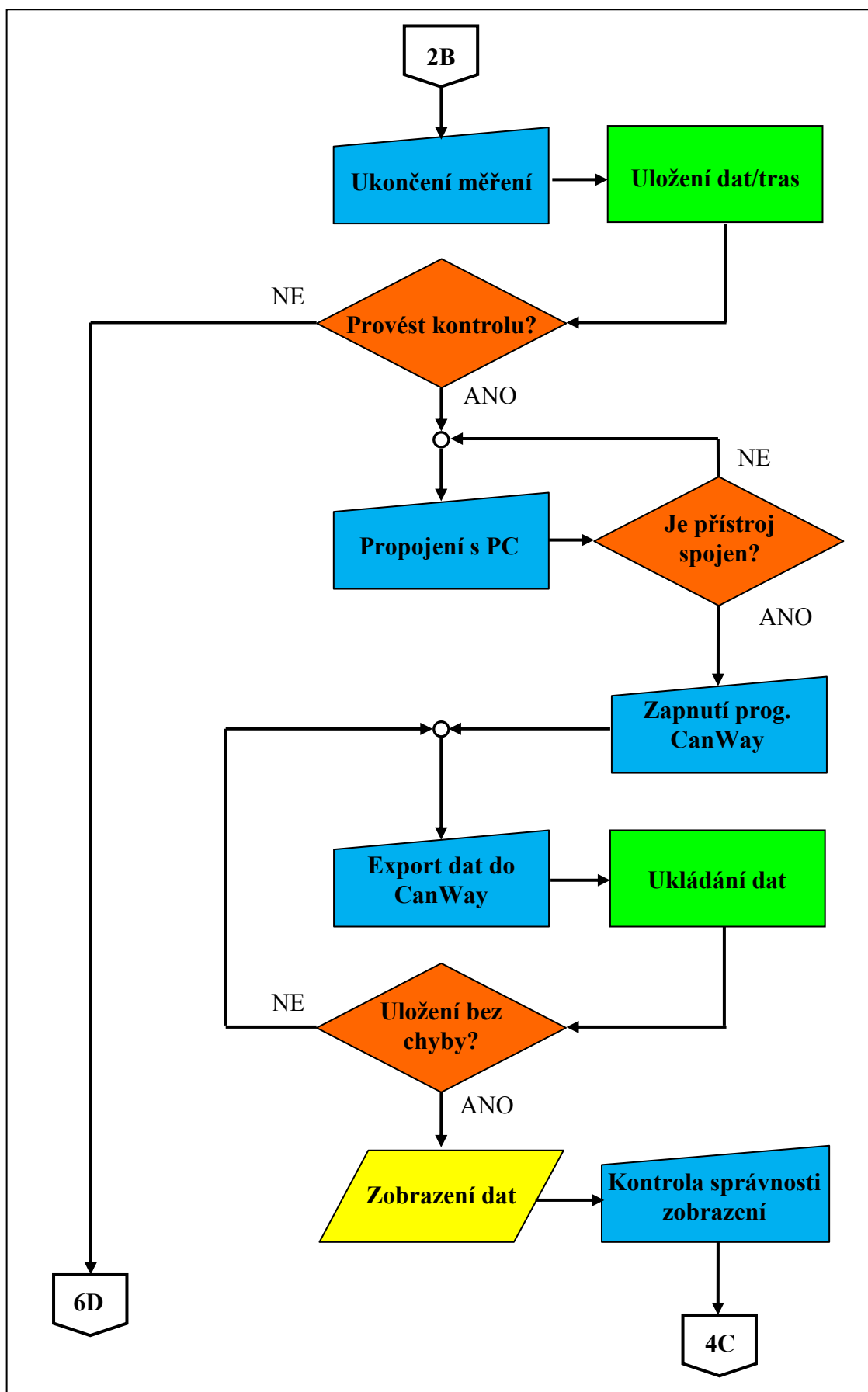


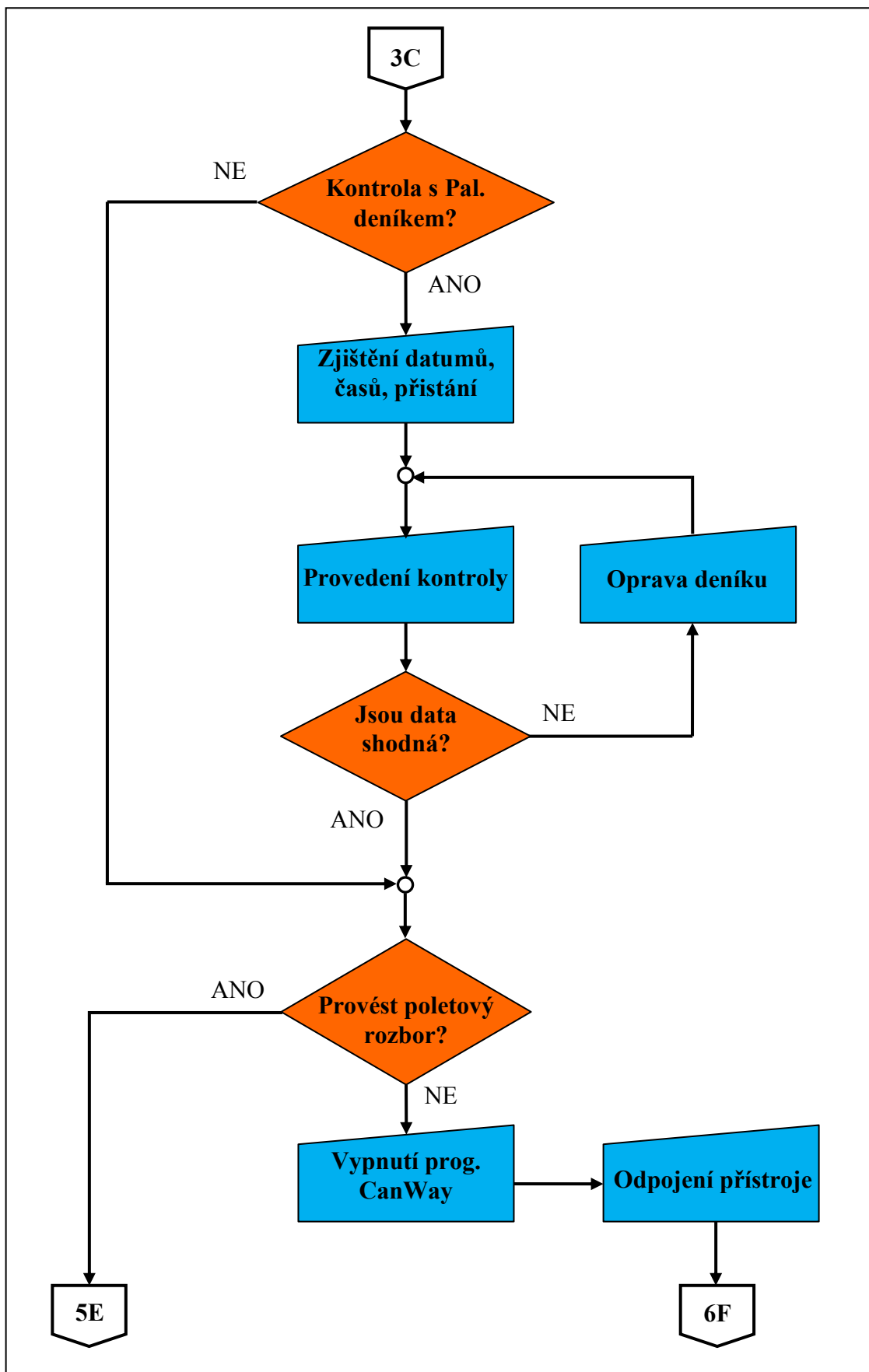


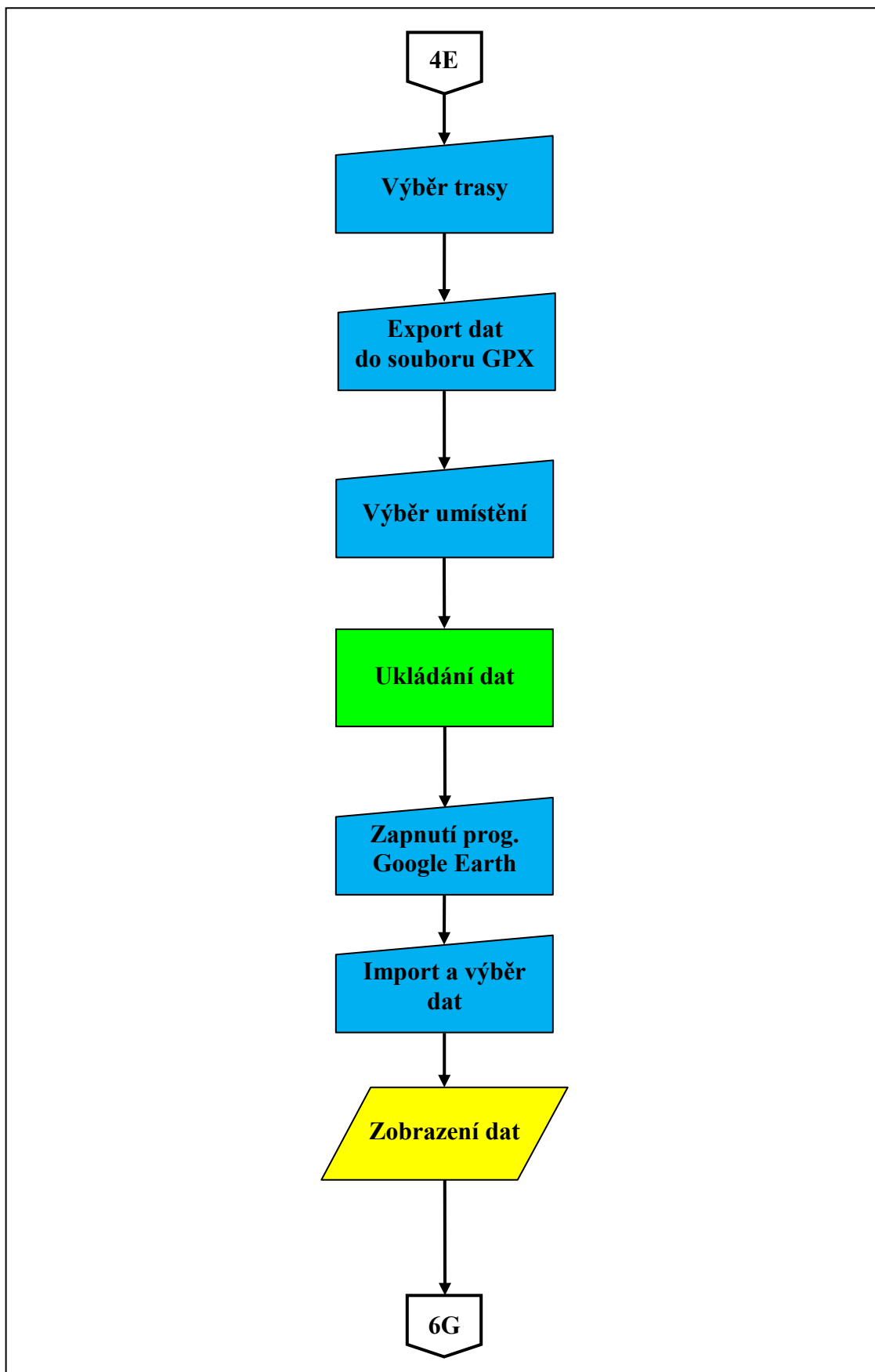
P-VIII Vývojový diagram k přístroji GP102+

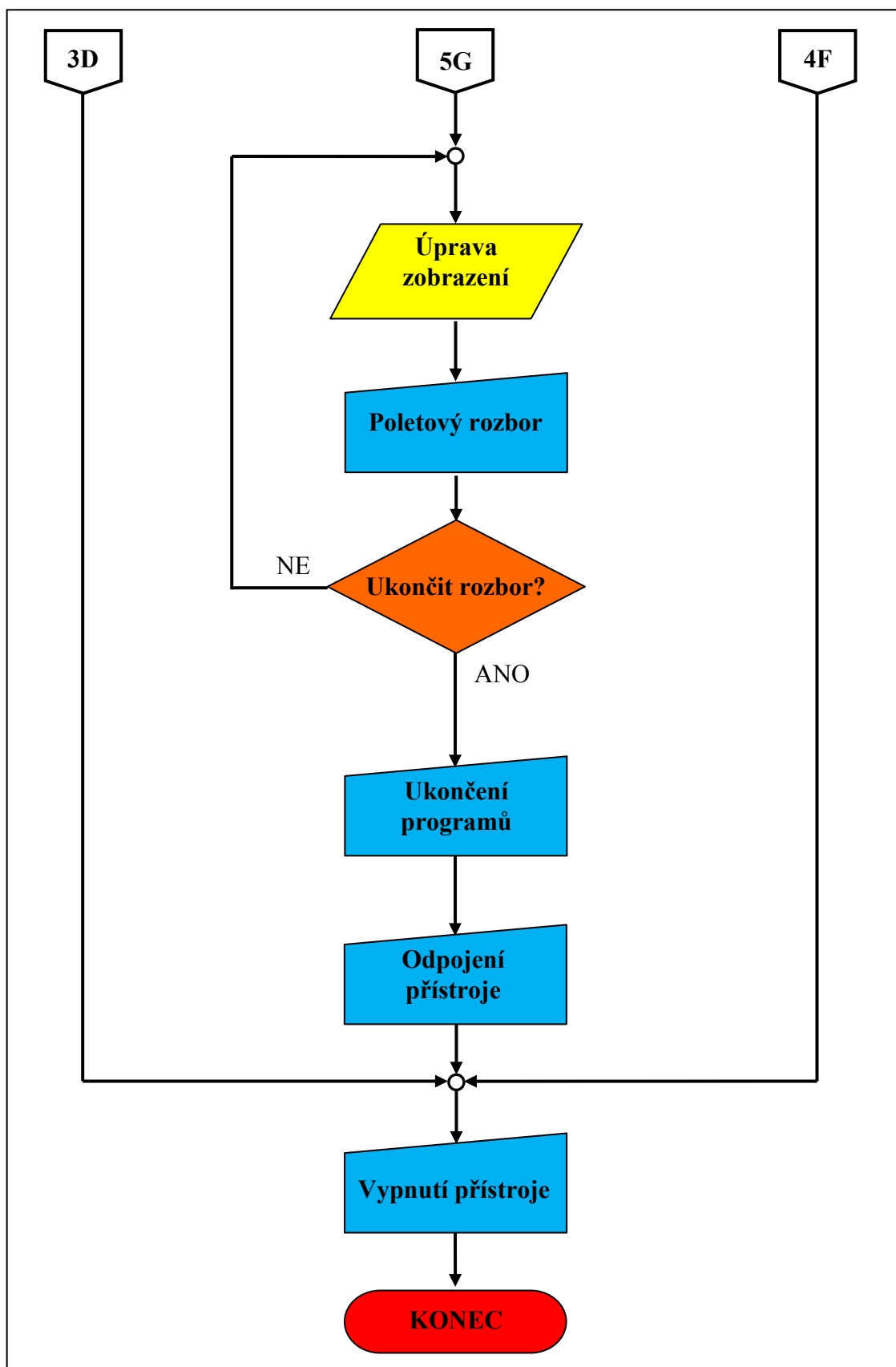




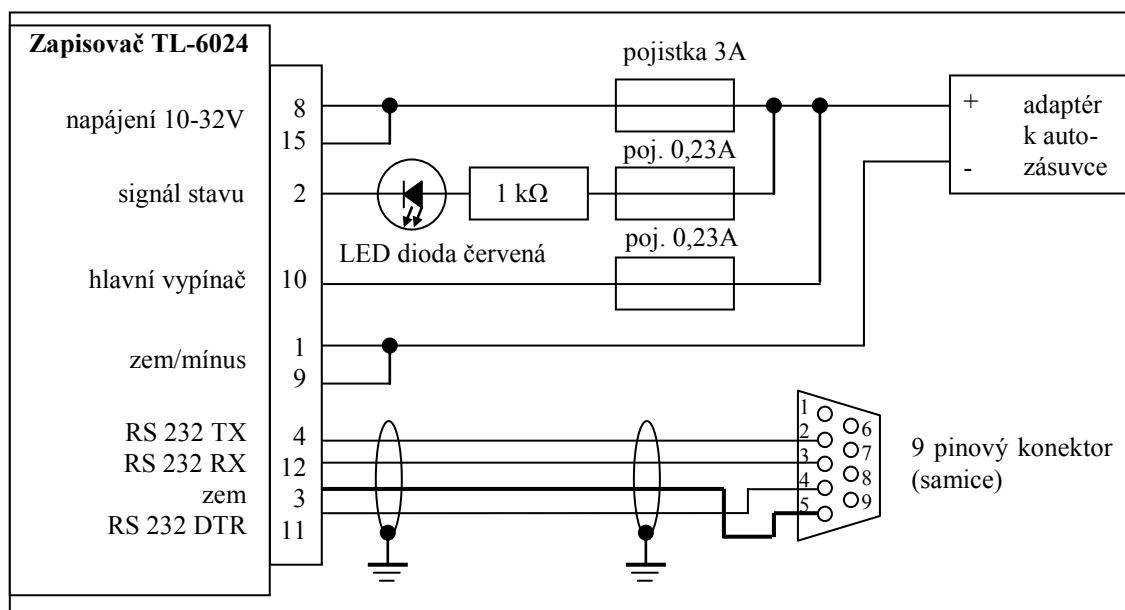








## P-IX Schéma a tabulka zapojení kabeláže k TL-6024



Pin č.	Název/význam	Vstup/výstup
1	Zem/mínus	výstup
2	Signál pro oznamování stavu	výstup
3	Zem pro komunikaci s PC (RS-232)	
4	TXD kanál do PC (RS-232)	výstup
5	Není použito	
6	Není použito	
7	Nezapojovat/není použito	
8	Napájení	vstup
9	Zem/mínus	výstup
10	Hlavní vypínač	vstup
11	DTR kanál z PC (RS-232)	vstup
12	RXD kanál z PC (RS-232)	vstup
13	Není použito	
14	Nezapojovat/není použito	
15	Napájení	vstup

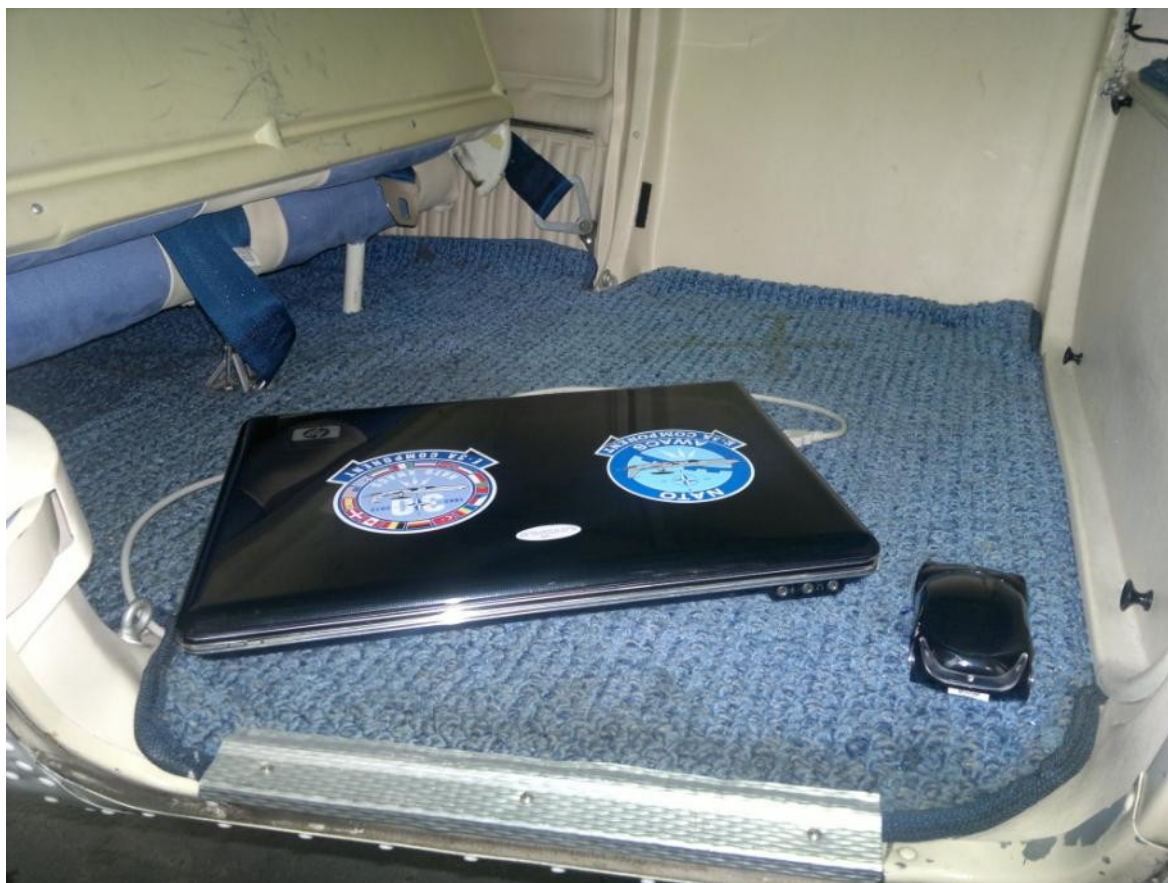
*P-IX/1 Schéma zapojení hlavní kabeláže upravené podle skutečné a vlastní potřeby na základě schématu z manuálu k TL-6024 a tabulka s označením pinů konektoru na přístroji podle schématu [26]*



## P-X Příklady instalace sledovacího zařízení v letadlech

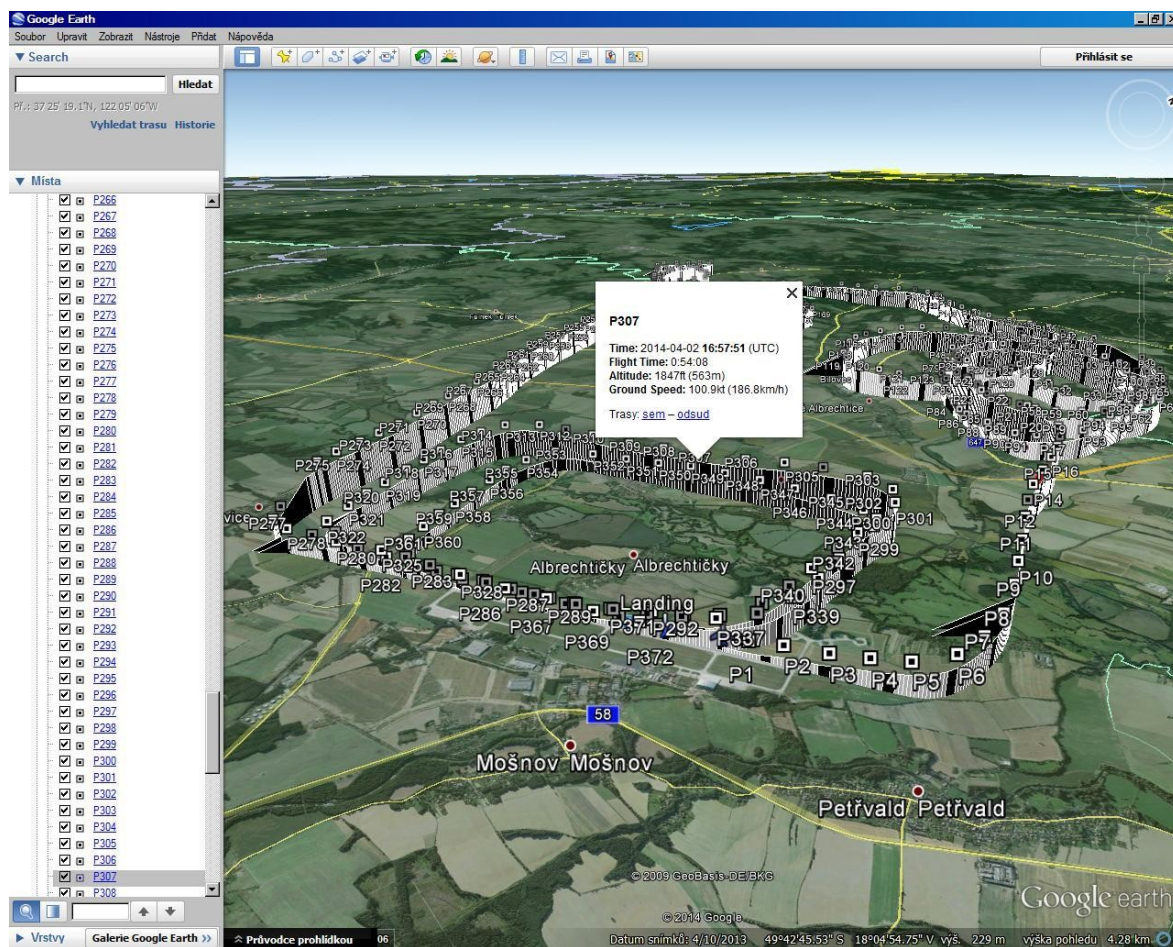
Cessna C152	Cessna C172
	
Zapojení prodlužovacího kabelu pro napájení sledovacích zařízení do auto-zásuvky na palubní desce.	
	
Způsoby umístění sledovacích zařízení v zavazadlových částech podle typu letadla a jejich zapojení k napájení (pomocí prodlužovacího kabelu a rozdvojky).	
	
Různé možnosti umístění externí antény k příjmu GPS signálů od zařízení TL-6024 na zadním okně (na straně nebo na horní části okna).	

P-X/1 Příklady instalace sledovacích zařízení a komponentů včetně napájení v letadle



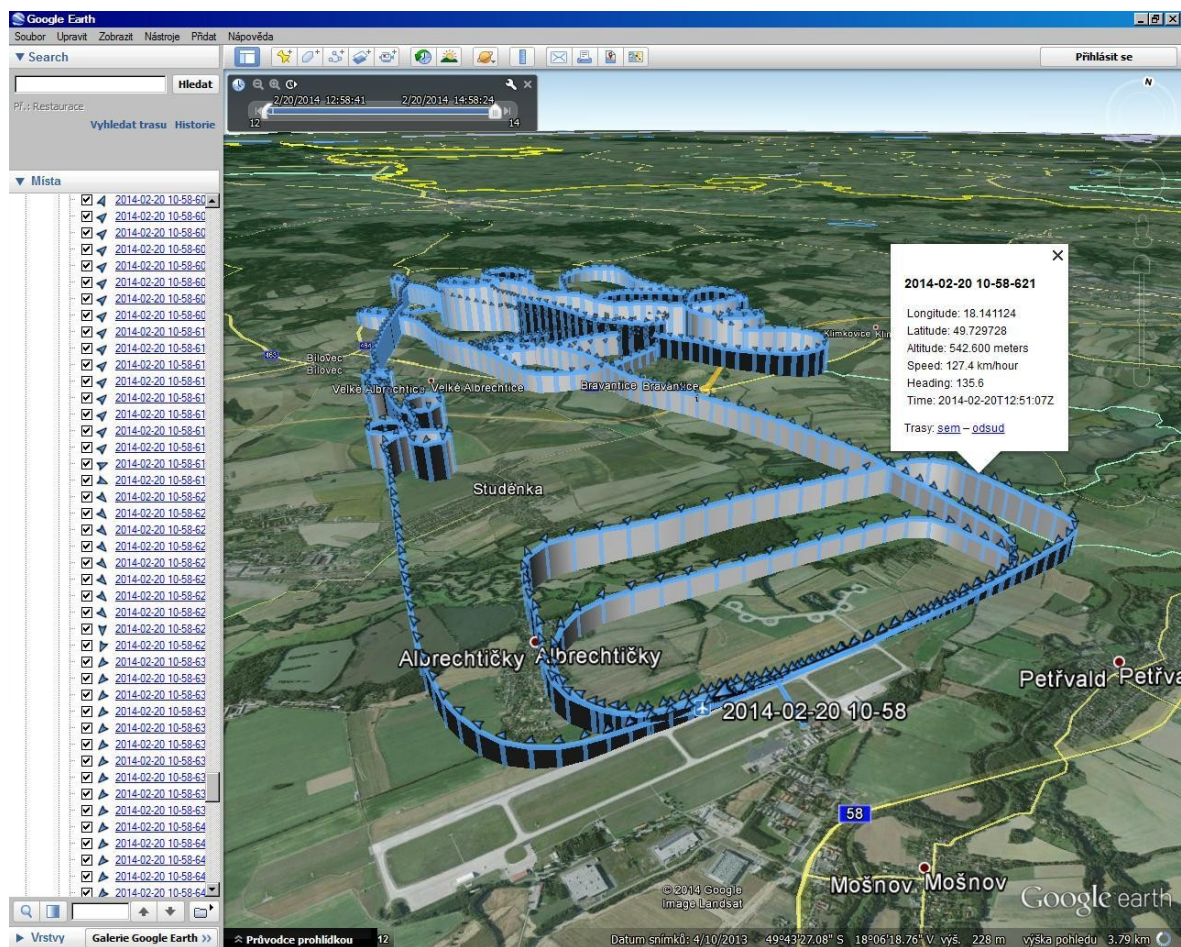
*P-X/2      Příklad připojení datového kabelu od zařízení TL-6024 k notebooku přímo  
v letadle C172*

## P-XI Další možnosti zobrazení dat v prostředí Google Earth

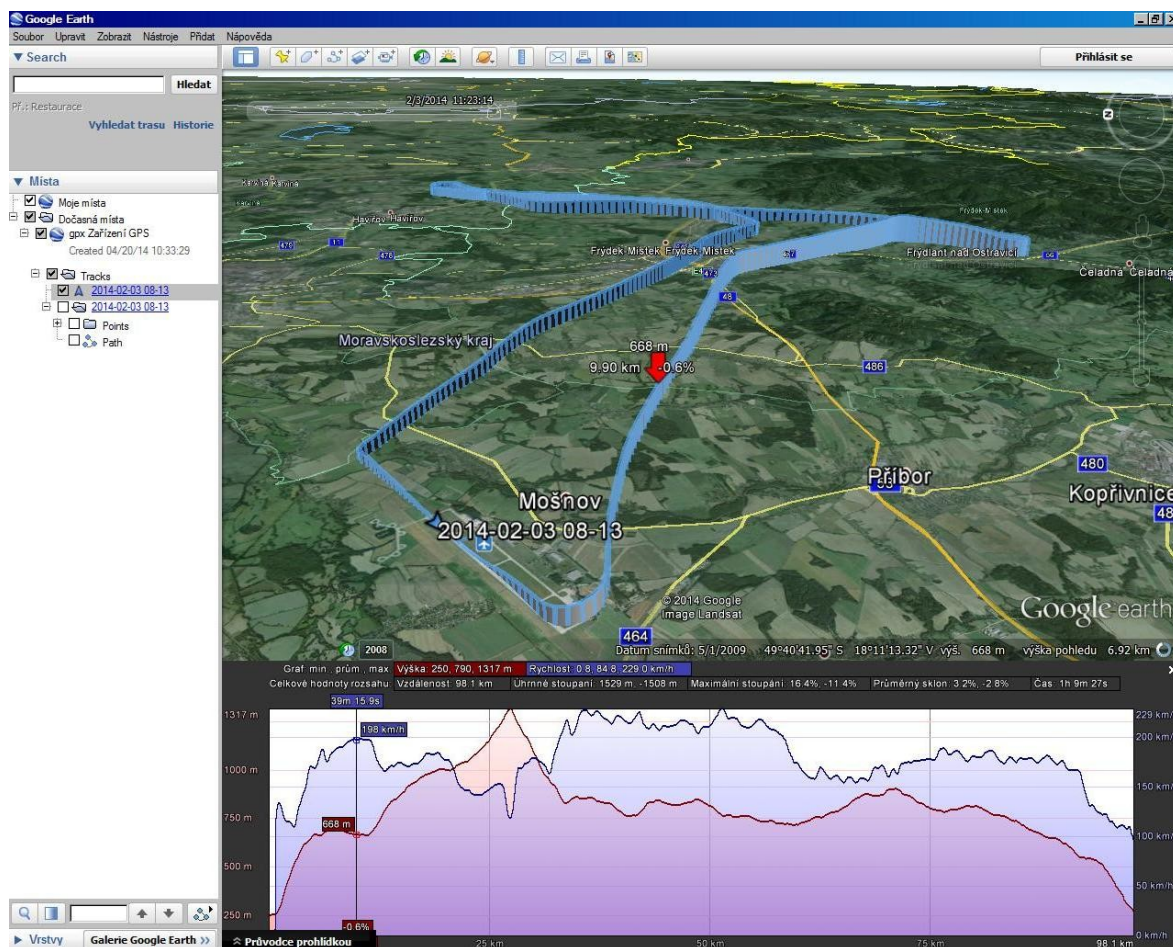


P-XI/1      Příklad zobrazení záznamu trasy z TL-6024 (soubor KML) se zobrazením všech doplňkových bodů „P“ a vybraným zobrazením dat bodu „P307“ [27]



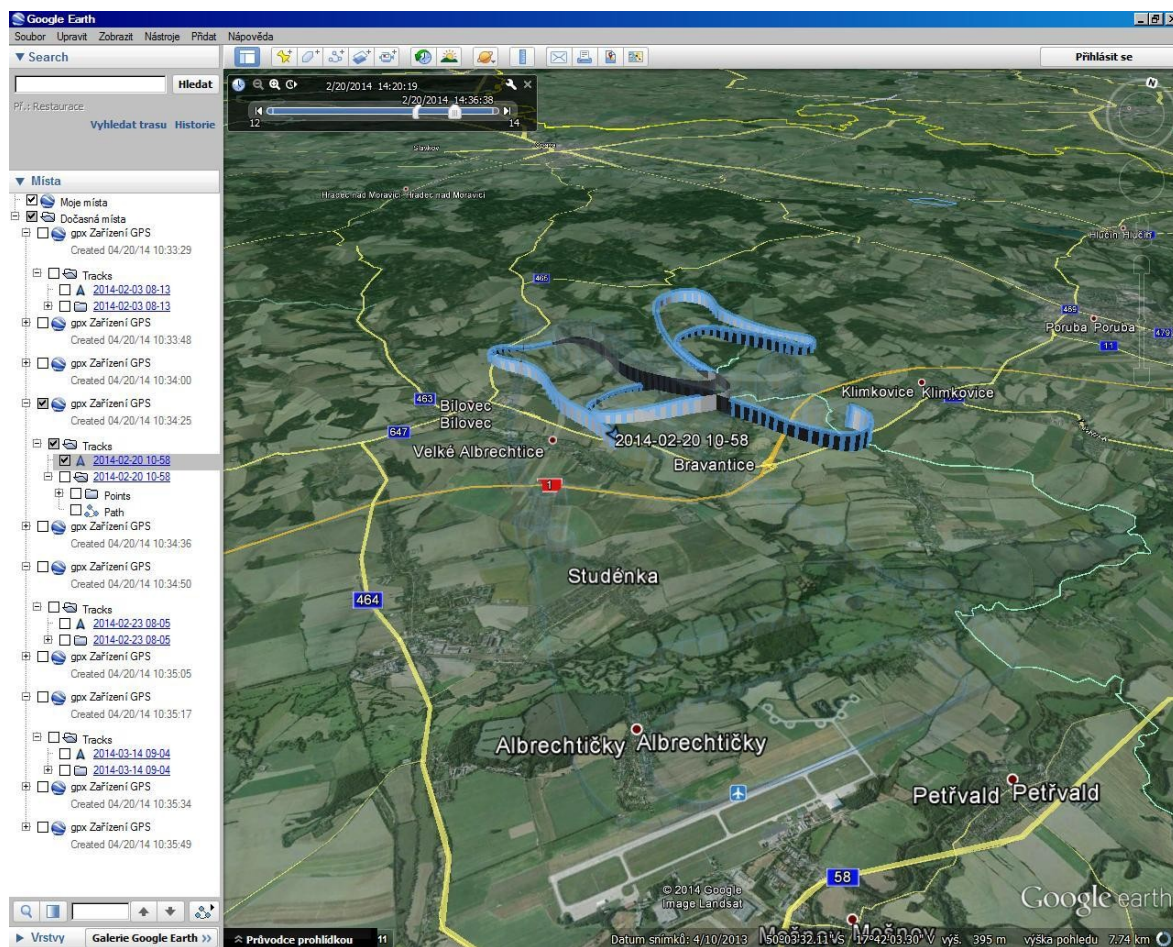


P-XI/2      *Příklad zobrazení záznamu trasy z GPX102+ (soubor GPX) se zobrazením všech doplňkových (KML) bodů „šipky“ a vybraným zobrazením dat jednoho bodu [27]*

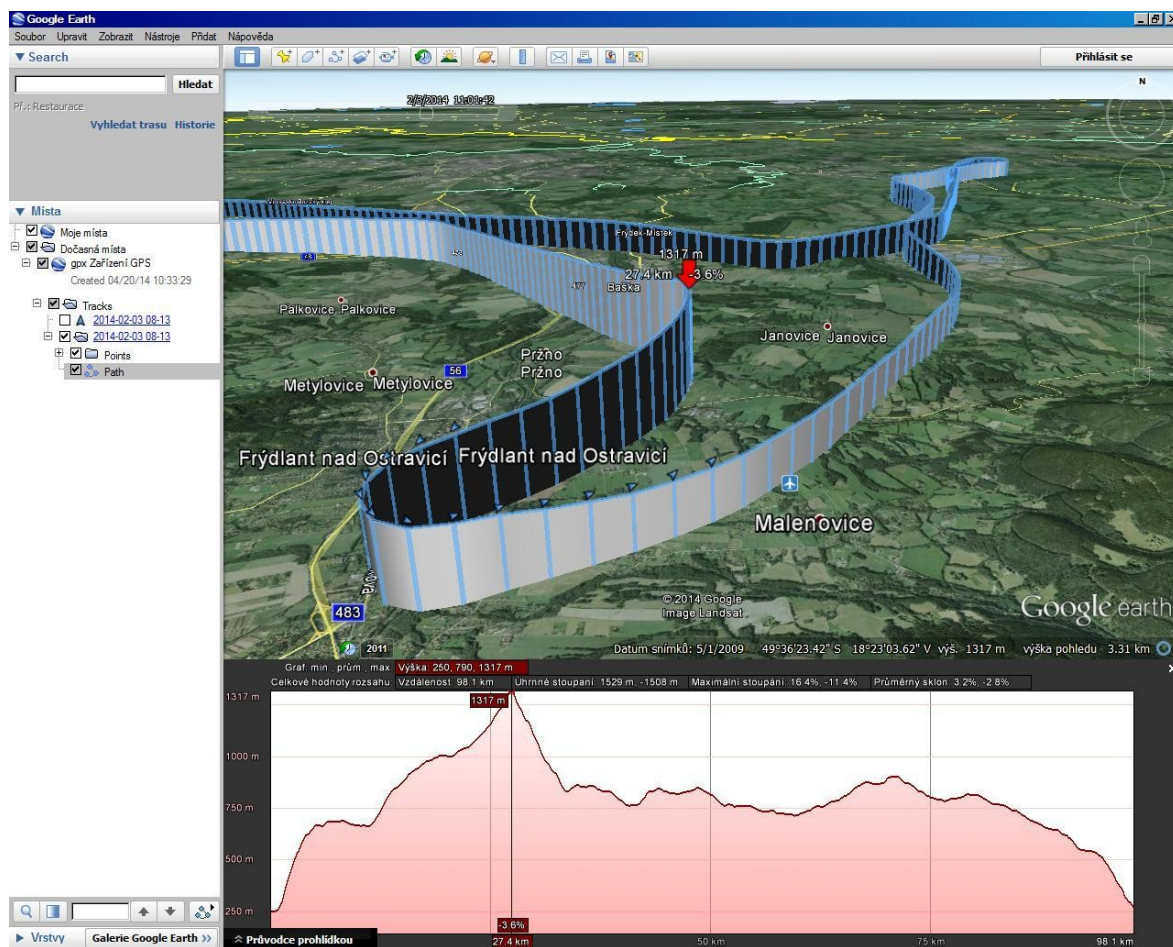


*P-XI/3      Příklad zobrazení záznamu trasy z GPX102+ (soubor GPX) se zobrazením grafu s průběhem výškového profilu (červená) a rychlosti (modrá) po celé zobrazené trase a zobrazení bodu grafu pomocí kurzoru [27]*



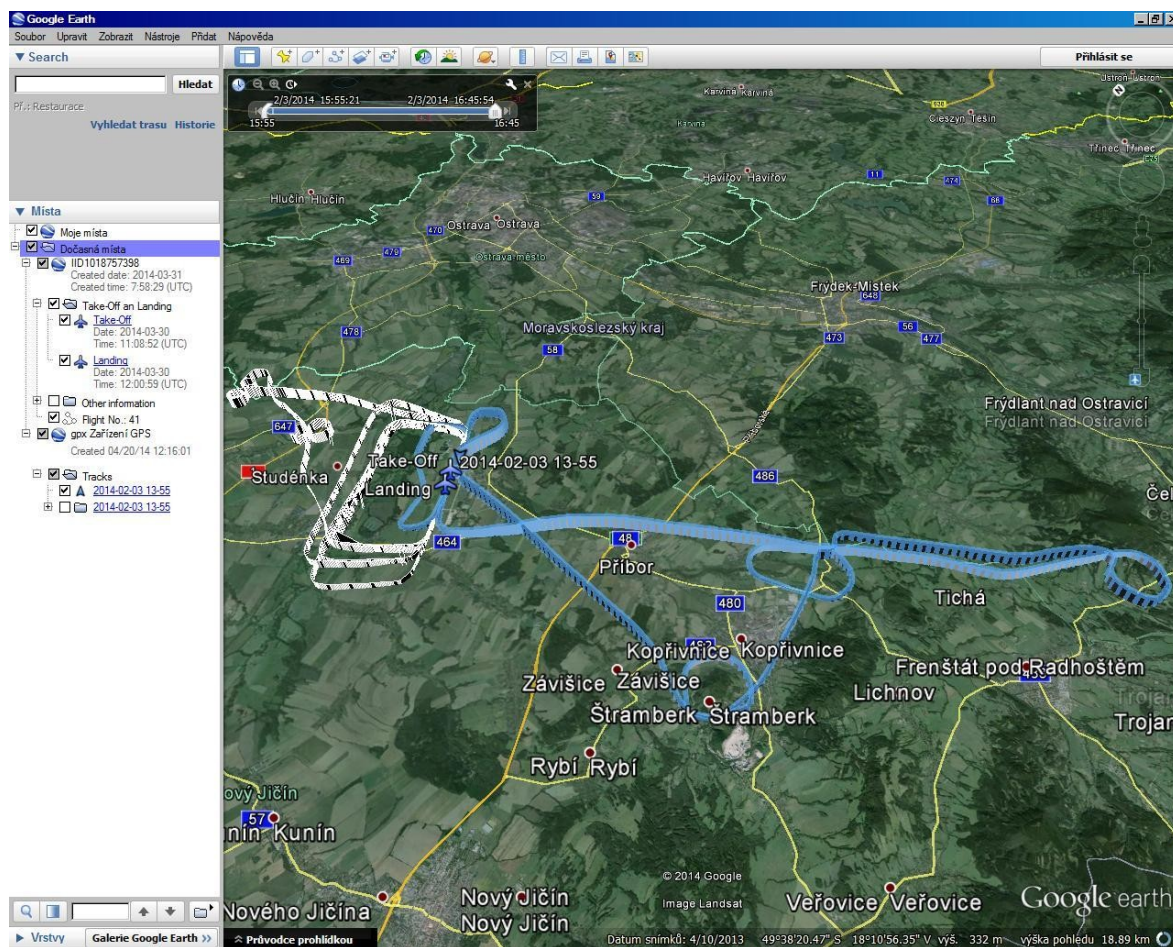


*P-XI/4      Příklad zobrazení záznamu trasy z GP102+ (soubor GPX) se zobrazením vybraného úseku z celé tratě pomocí časové osy (vlevo nahoře) [27]*



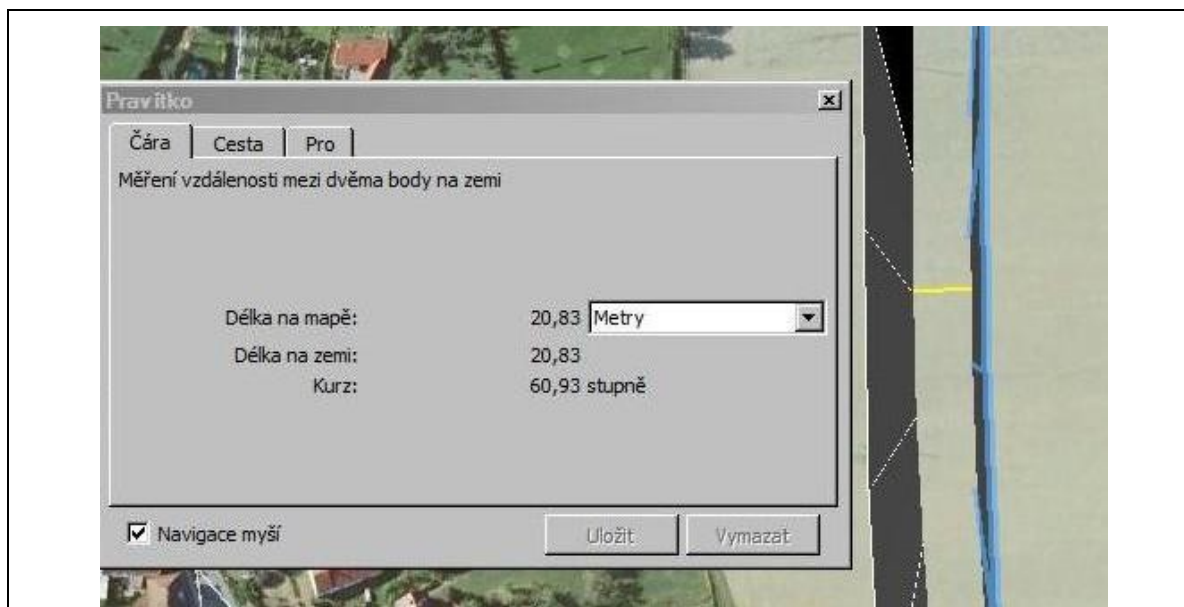
*P-XI/5      Příklad zobrazení záznamu trasy z GP102+ (soubor GPX) se zobrazením kombinace grafu s průběhem výškového profilu s vybraným bodem a vybraného úseku doplňkových (KML) bodů „šipek“ [27]*



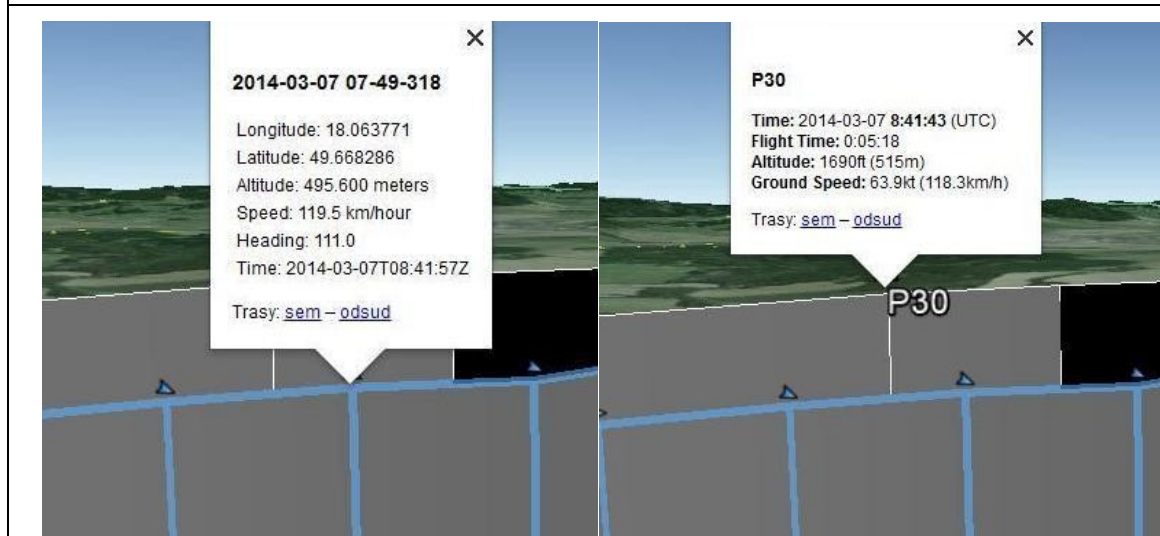


*P-XI/6      Příklad zobrazení dvou tras najednou (každý z jiného dne a času), jedna ze zařízení TL-6024 (bilo-černý model; soubor KML), druhá ze zařízení GP102+ (modro-černý model; soubor GPX) [27]*

## P-XII Srovnání přesností sledovacích zařízení



Horizontální srovnání TL-6024 (vlevo) a GP102+ (vpravo). [27]



Vertikální srovnání GP102+ (vlevo) a TL-6024 (vpravo). [27]